

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL BENDO PAULINO

MODELO AHP APLICADO À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA REGIÃO  
NORDESTE DE SANTA CATARINA

CURITIBA

2013

RAFAEL BENDO PAULINO

MODELO AHP APLICADO À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA  
REGIÃO NORDESTE DE SANTA CATARINA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientação: Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira

CURITIBA

2013

---

P328m      Paulino, Rafael Bendo

Modelo AHP aplicado à ocorrência de deslizamentos na região nordeste de Santa Catarina. [manuscrito] Rafael Bendo Paulino. – Curitiba, 2013.

106f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2013.

Orientador: Fabiano Antonio de Oliveira.

---



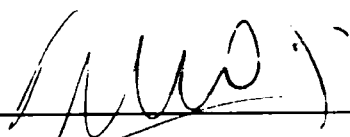
**Parecer**

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo (a) candidato (a) **RAFAEL BENDO PAULINO** intitulada **"MODELO AHP APLICADO À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA REGIÃO NORDESTE DE SANTA CATARINA"**, para obtenção do grau de Mestre em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração Espaço, Sociedade e Ambiente, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o (a) candidato (a), são de parecer pela aprovação da Dissertação.

Curitiba, 27 de março de 2013.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira – Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Masato Kobiyama (UFSC)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Claudinei Taborda da Silveira (UFPR)



## AGRADECIMENTOS

Depois deste longo período de trabalho fica a certeza de que as coisas teriam sido mais difíceis e menos prazerosas caso eu não tivesse contado com a colaboração de diversas pessoas e instituições. Assim agradeço a todos, que de uma forma ou outra ajudaram neste processo.

Agradeço ao Professor Fabiano que aceitou o desafio da orientação, que sem me conhecer, literalmente abriu as portas da sua casa, sugeriu a alteração do projeto, mas me deixou a vontade para desenvolver a dissertação.

Aos professores do programa de pós-graduação da UFPR com os quais tive aulas, que sempre são uma oportunidade de desenvolvimento.

À Bianca C. Vieira e ao Leonardo J. C. Santos pela participação e pelas contribuições na banca de qualificação.

Aos colegas de mestrado Letícia Haak e Jorge Campos pelas caronas a Curitiba, mas principalmente pelas conversas e "conselhos" durante as viagens. Também por não me acordar enquanto eu dormia na subida e/ou descida da serra.

Ao amigo e parceiro Roberto Fabris pelos conselhos e disponibilização de material bibliográfico.

À Prefeitura Municipal de Joinville por meio da gerente Marta e da diretora Carla que possibilitaram a minha participação às aulas.

Aos amigos Celso e André pela ajuda na elaboração dos mapas e introdução ao método AHP.

À CAPES pela concessão de bolsa para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Giampaolo, Rafael Ribeiro, Felipe, Jean Christian, Vetor, Dieter, Celso e André pelas conversas em diversas oportunidades.

À Mari, minha namorada, pelo companheirismo, amizade, compreensão, e também pelo empréstimo do ventilador, sem o qual eu não suportaria o calor de Joinville.

À todos o meu muito obrigado!

## RESUMO

A identificação de áreas de perigo a deslizamento constitui uma importante ferramenta de prevenção a desastres naturais. Mesmo comuns esses eventos têm a capacidade de gerar imensos prejuízos socioeconômicos devido a falta de planejamento na gestão do território. Na busca de compreender um dos mecanismos que age sobre a evolução das encostas iniciou-se este trabalho. Nesse intuito propôs-se os seguintes objetivos: investigar a relação entre fatores condicionantes como declividade, pedologia, geologia, orientação de vertente e uso do solo usando análise espacial em ambiente SIG; proposição de modelo de perigo; produzir inventário de cicatrizes para a validação do modelo; e uma análise dos volumes de precipitação como agentes de deflagração da instabilidade das encostas. Como área de estudo definiu-se as encostas da Serra do Mar nas bacias dos rios Piraí, Cubatão e Pirabeiraba. O principal resultado deste trabalho foi a produção de inventário de cicatrizes ocorridas nas encostas da Serra do Mar entre 1995 a 2011. Foram identificadas 199 cicatrizes que totalizaram 1,03 km<sup>2</sup>. Para gerar o modelo de perigo foi utilizado o método AHP que consiste na ponderação de critérios pareados. A partir do cruzamento das cicatrizes dos deslizamentos com as classes temáticas foi possível identificar padrões de concentração de determinados setores da encosta que permitiram criar tabelas de pesos para os fatores condicionantes e a matriz de preferência do modelo AHP. Três possíveis modelos foram confrontados com o inventário de cicatrizes e através de escolha subjetiva um deles foi eleito o ideal para a área de estudo. A análise dos registros pluviométricos indica que as encostas da Serra do Mar estão sujeitas a frequentes volumes extremos de precipitação que podem desestabilizar as vertente provocando assim os deslizamentos.

Palavras-chave: Inventário de Deslizamento. Modelo AHP. Mapa de Perigo.

## ABSTRACT

The identification of landslide hazard zones is an important tool to predict natural hazards. Despite being frequent, these events have the capacity of making huge socioeconomic losses due to absence of planning in the territorial management. In order to understand one of the mechanisms that acts over the hills evolution, this research has begun. To that end, the following objectives have been set: to explore the relationship between conditioning factors such as slope, pedology, geology, aspect and land use with spatial analyses in GIS; proposition of the hazards model; to produce an inventory of scars to validate the model; and an analysis of the precipitation volume as an agent that triggers slope instability. The study areas were the hillslopes of Serra do Mar on the basins of Piraí, Pirabeiraba, and Cubatão do Norte rivers. The main result of this research was the production of an inventory of scar landslides that occurred between 1995 to 2011. There were 199 scars identified that totaled 1,03 km<sup>2</sup>. To generate the hazards model, the AHP scheme was used, which consists in the weighting of criteria paired comparisons as ratios. By the crossings of landslides scars with the thematic classes it was possible to identify patterns of concentration in the same sectors of the hillslope that allowed to make weights tables for the conditioning facts and the pairwise comparison matrix of the AHP model. Three possible models were confronted with the scars inventory and by subjective choice one of them was elected ideal to the study area. The analysis of the precipitation records indicates that the hillslope of Serra do Mar are subjected to frequent extreme volumes of rain that can destabilize slopes causing the landslides.

Key-words: Inventory of Landslides; AHP model; Hazards Maps.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Modelo esquemático de um deslizamento rotacional com indicação de elementos que compõe esta forma. ....	14
FIGURA 2:	Mapa de Localização da área de estudo.....	17
FIGURA 3:	Mapa Geológico da área de estudo. ....	19
FIGURA 4:	Mapa da Cobertura Pedológica da área de estudo. ....	22
FIGURA 5:	Mapa Geomorfológico da área de estudo. ....	25
FIGURA 6:	Escarpas da Serra do Mar na bacia do Rio Cubatão. ....	26
FIGURA 7:	Mapa Hipsométrico da área de estudo.....	27
FIGURA 8:	Mapa de declividade de vertentes da área de estudos. ....	29
FIGURA 9:	Mapa de Orientação de Vertentes da área de estudo.....	31
FIGURA 10:	Mapa de precipitação pluviométrica. ....	33
FIGURA 11:	Precipitação mensaldas estações entre o período de 1995 a 2011. ...	35
FIGURA 12:	Mapa da cobertura vegetal da área de estudo. ....	37
FIGURA 13:	Mapa da rede de drenagem e identificação das bacias estudadas....	39
FIGURA 14:	Representação da estrutura de um rifte simétrico.....	40
FIGURA 15:	Sequência evolutiva da margem sul-sudeste do Brasil durante o período juro-cretáceo. ....	42
FIGURA 16:	Sequência evolutiva Neocretácea-Cenozóica da Serra do Mar. ....	43
FIGURA 17:	Deslizamentos do tipo corrida de detritos ocorridos em 2011 na bacia do Piraí. 45	
FIGURA 18:	(A) Deslizamento Rotacional; (B) Deslizamento Translacional; (C) Corrida de Bloco; (D) Queda de Blocos; (E) Tombamento; (F) Fluxo de Detritos; (G) Avalanche de Detritos; (H) Fluxo de Terra; (I) Rastejamento e (J) Espalhamento....	46
FIGURA 19:	Estabilidade da encosta. ....	47
FIGURA 20:	Relação entre chuva e Escorregamento em Hong Kong.....	54
FIGURA 21:	Correlação entre Chuva Máxima horária e deslizamentos em Hong Kong. 54	
FIGURA 22:	Representação do Coeficiente Final proposto por Guidicini e Iwasa (1976) 55	
FIGURA 23:	Fluxograma dos procedimentos metodológicos. ....	58

FIGURA 24:	Mapa da articulação da base cartográfica. ....	62
FIGURA 25:	Exemplo do mapeamento para o cadastro do inventário das cicatrizes. ....	63
FIGURA 26:	Mapa dos Deslizamentos na área de estudo. ....	69
FIGURA 27:	Distribuição do número de cicatrizes e do percentual das áreas deslizadas. ....	70
FIGURA 28:	Área da encosta e das cicatrizes conforme as classes de declividade. ....	73
FIGURA 29:	Área da encosta e das cicatrizes conforme Orientação de Vertente. ....	75
FIGURA 30:	Mapa de fator de perigo para a condicionante Orientação de Vertentes da área de estudo. ....	76
FIGURA 31:	Área da encosta e das cicatrizes conforme os tipos Geológicos. ....	78
FIGURA 32:	Mapa de fator de perigo para a condicionante Geologia da área de estudo. ....	79
FIGURA 33:	Área da encosta e das cicatrizes conforme os tipos Pedológicos. ....	81
FIGURA 34:	Mapa de fator de perigo para a condicionante Cobertura Pedológica da Área de Estudo. ....	82
FIGURA 35:	Mapa de fator de perigo para a condicionante Uso do Solo da área de estudo. ....	84
FIGURA 36:	Área das cicatrizes segundo o Uso do Solo. ....	85
FIGURA 37:	Modelos propostos à área de estudo. ....	86
FIGURA 38:	Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo A. ....	87
FIGURA 39:	Detalhamento do Modelo A nas áreas de maior incidência de deslizamentos. ....	88
FIGURA 40:	Detalhamento do Modelo B nas áreas de maior incidência de deslizamentos. ....	90
FIGURA 41:	Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo B. ....	91
FIGURA 42:	Detalhamento do Modelo C nas áreas de maior incidência de deslizamentos. ....	92
FIGURA 43:	Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo C. ....	93
FIGURA 44:	Mapa da precipitação média anual das bacias Cubatão e Pirabeiraba. ....	94
FIGURA 45:	As 20 maiores Precipitações diárias, acumuladas de 3 dias e de 7 dias para as estações Garuva, Pirabeiraba, estrada dos Morros e Primeiro Salto Cubatão. ....	96

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Área e fração dos tipos geológicos na área de estudo.....	20
TABELA 2:	Área e fração dos tipos de solos na área de estudo. ....	21
TABELA 3:	Área e fração das classes Hipsométricas da área de estudo.....	28
TABELA 4:	Área e fração classes de declividade da área de estudo. ....	28
TABELA 5:	Área e fração Orientação de Vertentes da área de estudo. ....	30
TABELA 6:	Período de dados utilizados das estações de 1995 a 2011, com totais de precipitação anual (mm). ....	34
TABELA 7:	Máxima precipitação diária registrada no período de 1995 a 2011....	35
TABELA 8:	Classificação dos Movimentos de Massa (VARNES, 1978).....	45
TABELA 9:	Propostas de precipitação crítica segundo diversos autores em diferentes localidades.....	52
TABELA 10:	Estações pluviométricas utilizadas nas análises dos dados de precipitação. ....	61
TABELA 11:	Fotos áreas e ortofotos utilizadas no levantamento de cicatrizes de deslizamentos. ....	62
TABELA 12:	Exemplo de cadastro do inventário das cicatrizes. ....	63
TABELA 13:	Escala de intensidade de importância e pesos proposta por Saaty 1990 .....	65
TABELA 14:	Modelo de Matriz de Preferência proposto por Saaty 1990. ....	65
TABELA 15:	Valores para RI, Saaty 1990. ....	66
TABELA 16:	Pesos atribuídos ao fator de perigo Declividade. ....	72
TABELA 17:	Área das cicatrizes conforme as classes de declividade. ....	72
TABELA 18:	Pesos atribuídos ao fator de perigo Orientação de Vertentes.....	74
TABELA 19:	Área das cicatrizes conforme a Orientação da vertente.....	74
TABELA 20:	Área das cicatrizes conforme os tipos Geológicos.....	77
TABELA 21:	Pesos atribuídos ao fator de perigo geologia. ....	78
TABELA 22:	Área das cicatrizes conforme os tipos Pedológicos. ....	80
TABELA 23:	Pesos atribuídos ao fator de perigo Cobertura Pedológica. ....	81
TABELA 24:	Pesos atribuídos às classes de Uso do Solo. ....	83
TABELA 25:	Área das cicatrizes segundo o Uso do Solo.....	85
TABELA 26:	Matriz de preferência do Modelo A. ....	87

TABELA 27:	Matriz de preferência do Modelo B.....	88
TABELA 28:	Pesos finais dos fatores condicionantes no Modelo B.....	89
TABELA 29:	Matriz de preferência do Modelo C.....	91
TABELA 30:	Pesos finais dos fatores condicionantes no Modelo C .....	92
TABELA 31:	Volumes medidos nas estações durante os principais eventos pluviométricos. ....	97

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
3.1	GEOLOGIA.....	18
3.2	COBERTURA PEDOLÓGICA .....	20
3.3	GEOMORFOLOGIA .....	24
3.4	CLIMA .....	32
3.5	VEGETAÇÃO .....	36
3.6	HIDROGRAFIA.....	38
4	A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DA SERRA DO MAR.....	40
5	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA .....	44
5.1	CLASSIFICAÇÕES DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA ....	44
5.2	FATORES CONDICIONANTES AOS DESLIZAMENTOS .....	47
5.3	PRECIPITAÇÃO E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS.....	52
6	MATERIAIS E MÉTODOS .....	57
6.1	DEFINIÇÃO DA ESCALA ESPACIAL E ESCALA TEMPORAL .....	59
6.2	LEVANTAMENTO DA BASE CARTOGRÁFICA E DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	59
6.3	CONFEÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICATRIZES E DE MAPAS DE PERIGO. ....	61
6.4	O MÉTODO AHP - ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	64
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
7.1	INVENTÁRIO DOS DESLIZAMENTOS.....	68
7.2	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS DESLIZAMENTOS E OS FATORES CONDICIONANTES.....	71
7.2.1	Fator de Perigo para a Condicionante Declividade .....	71
7.2.2	Fator de Perigo para a Condicionante Orientação de Vertentes .....	73
7.2.3	Fator de Perigo para a Condicionante Geologia .....	77
7.2.4	Fator de Perigo para a Condicionante Cobertura Pedologia.....	80
7.2.5	Fator de Perigo para a Condicionante Uso do Solo .....	83
7.3	Modelos de Perigo a Deslizamentos .....	85
7.3.1	Modelo A .....	86
7.3.2	Modelo B .....	88
7.3.3	Modelo C.....	91
7.4	Análise da Pluviosidade .....	93
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E CARTOGRÁFICAS .....	101



9.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
9.2	REFERÊNCIAS CARTOGRÁFICAS.....	106

## 1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos em encostas são fenômenos naturais que têm papel fundamental na evolução de vertentes (TATIZANA *et al.* 1987). Individualmente esses fenômenos podem não apresentar grandes transformações na paisagem, porém quando há uma concentração provocada por eventos extremos os impactos sobre o relevo e as comunidades que vivem próximas a essas áreas podem ser significativos (VARNES, 1984; MONTGOMERY e DIETRICH, 1994).

Em áreas montanhosas tropicais e subtropicais, sem influência de tectonismo, os deslizamentos são provocados, geralmente, pela intensa precipitação pluviométrica (DAI e LEE, 2002), resultando em impactos negativos a população. As severidades dos eventos podem estar associadas a fatores como o aumento populacional em áreas susceptíveis a perigos e a vulnerabilidade das pessoas que ocupam tais áreas de riscos (SILVEIRA *et al.* 2009).

Deslizamentos são definidos como um movimento de massa complexo que sofre a influência de diversos fatores e podem causar graves consequências ambientais (FERNANDES e AMARAL, 1996). Eles são fenômenos naturais que atuam como modeladores do relevo. Esses fenômenos provocam grandes impactos às sociedades à medida que as ocupações urbanas subestimam seu potencial destruidor. Segundo a ONU, os deslizamentos, juntamente com os terremotos e as inundações, são os desastres naturais que mais provocam perdas humanas e econômicas no mundo (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Neste trabalho, "Deslizamentos" serão empregados como um termo genérico para caracterizar a descida de qualquer material encosta abaixo pela ação da gravidade, assim como a forma resultante deste fenômeno (FIGURA 1).

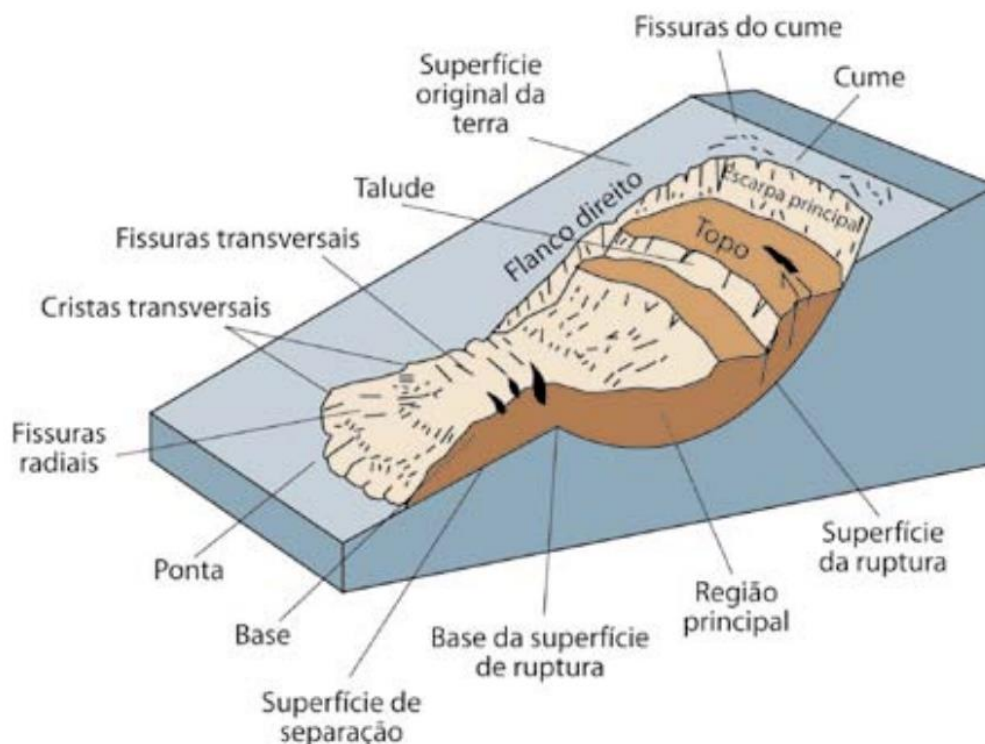


FIGURA 1: Modelo esquemático de um deslizamento rotacional com indicação de elementos que compõe esta forma.

Fonte: (VARNES, 1978 apud. HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008)

A Serra do Mar é frequentemente sujeita a deslizamentos desencadeados pela intensa precipitação associado a fatores condicionantes. Suas escarpas vêm sendo objeto de estudos de diversos grupos de pesquisa no Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (GUIDICINI e IWASA, 1976; TATIZANA *et al.* 1987; FERNANDES *et al.* 2001; SESTINI, 2000; TAVARES *et al.* 2004; COELHO NETO *et al.* 2007; SOARES, 2006; VIEIRA, 2007; entre outros).

No entanto, o trecho da Serra do Mar na porção nordeste de Santa Catarina conta com poucos estudos sobre esses fenômenos, seus fatores condicionantes e suas relações com a precipitação. O trabalho ora apresentado busca contribuir para o incremento do conhecimento de processos geomorfológicos na região, dada a lacuna de trabalhos científicos nessa área, produzindo um inventário dos deslizamentos ocorridos nos últimos anos e associando-os aos seus fatores condicionantes e a eventos pluviométricos. Tal lacuna se deve ao fato dos inventários serem feitos apenas quando ocorrem grandes eventos desencadeadores de deslizamentos. Muito pouco é feito para a obtenção de atualização de inventários anualmente.

Além da reflexão sobre um tema bastante discutido que é a relação entre os fatores condicionantes, e a ocorrência de deslizamentos, outra contribuição importante deste projeto será o inventário dos deslizamentos ocorridos no período de investigação, visto que a área de estudo não conta com o levantamento destes eventos. Com isso, poderão ser identificadas áreas de perigo a deslizamentos dentro do campo de estudo. O mapeamento destes eventos tem potencial para ser incorporado no planejamento territorial a fim de ordenar a ocupação e o uso destas áreas.

Ainda como resultado, este trabalho busca apresentar um modelo de perigo a deslizamento para as encostas da Serra do Mar. O modelo será proposto a partir do relacionando entre os fatores condicionantes utilizando o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Para tal, as classes de cada fator condicionante serão avaliadas e atribuídos pesos para a proposição do modelo. Por fim, as cicatrizes de deslizamentos servirão para validação do modelo.

Este projeto foi desenvolvido ao longo dos últimos dois anos e contou com extensa pesquisa bibliográfica sobre o tema e a área de estudo. Com os objetivos definidos partiu-se para a busca de ferramentas e insumos para a realização desta pesquisa. Como ferramentas citamos os *softwares* e os equipamentos de campo e gabinete, como insumos os registros pluviométricos e a base cartográfica. Com isso reunido, o passo seguinte foi a criação do inventário de deslizamentos, organização dos registros pluviométricos e bibliográficos e confecção dos mapas temáticos.

A dissertação é composta por oito capítulos assim divididos: (1) a introdução aqui desenvolvida; (2) o Objetivo Geral e os Específicos; (3) a apresentação da área de estudo; (4) resgate da evolução da Serra do Mar; (5) apresentação de revisão bibliográfica sobre os deslizamentos e seus fatores condicionantes; (6) descrição dos materiais e da proposta metodológica; o capítulo (7) apresenta os resultados obtidos e os confronta com a bibliografia pesquisada; e o (8) trata de concluir o trabalho.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estabelecer uma relação entre fatores condicionantes e o inventário de ocorrências de deslizamentos, no período de 1995 até 2011, nas encostas da Serra do Mar na região de Joinville, SC. Para tanto, propõe-se como objetivos específicos:

- a) Identificar e quantificar as áreas afetadas por deslizamentos através de imagens orbitais e fotos aéreas em séries históricas;
- b) Estimar o grau de importância dos fatores condicionantes (Declividade, Geologia, Cobertura Pedológica, Uso do Solo e Orientação de vertente) nos deslizamentos de encostas;
- c) Propor um modelo de perigo de deslizamentos utilizando o método de Análise de Processos Hierárquicos (AHP);
- d) Identificar o volume de precipitação pluviométrica diária e acumulada para os eventos investigados.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região nordeste de Santa Catarina compreendendo as encostas da Serra do Mar com grande variação altimétrica e sujeita a intensa ação dos agentes modeladores do relevo. Para definir a área de estudos foram selecionadas inicialmente as bacias hidrográficas dos rios Cubatão do Norte, Piraí e Pirabeiraba, englobando os municípios catarinenses de Garuva, Joinville, Jaraguá do Sul e Araquari. Em seguida foram delimitadas as encostas da Serra do Mar inseridas nessas bacias. A FIGURA 2 mostra a área de estudo, delimitada pela linha na cor preta, em seu contexto regional. Nota-se a proximidade com a baía da Babitonga, a planície costeira e o gradiente altimétrico das escarpas da Serra do Mar. Para facilitar a localização foi incluído a malha rodoviária e os principais rios.

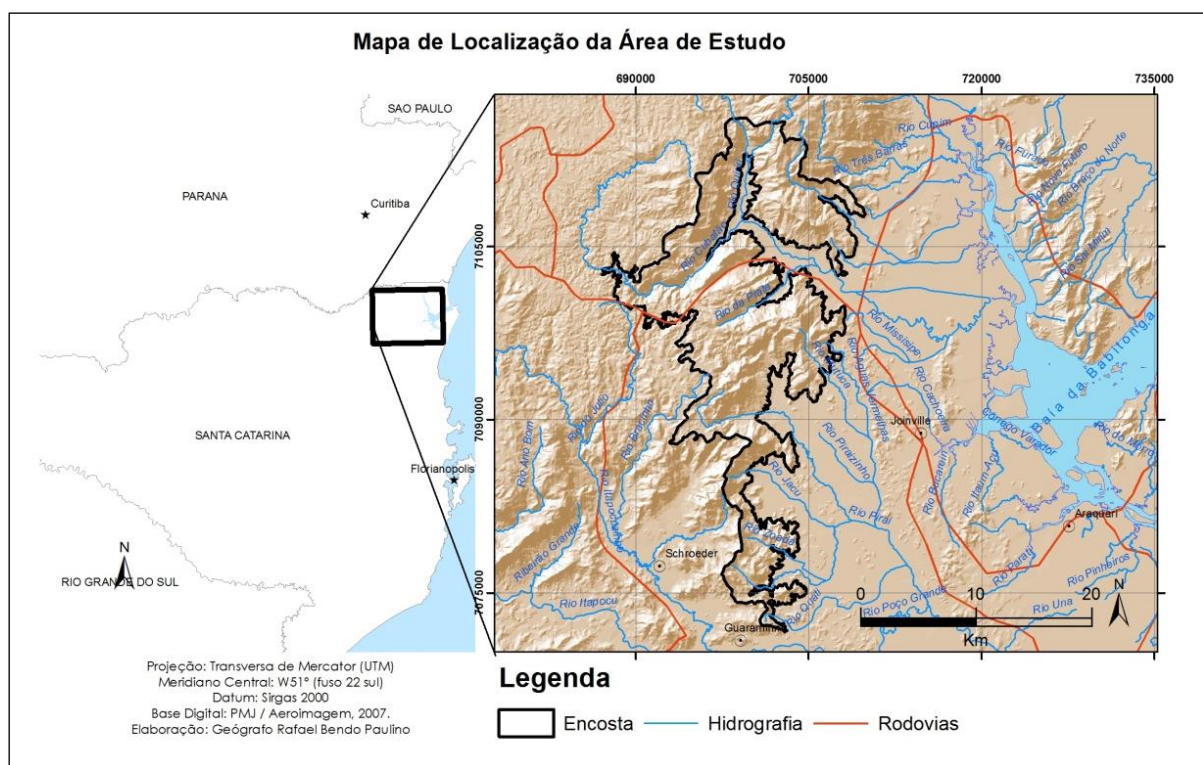


FIGURA 2: Mapa de Localização da área de estudo.

### 3.1 GEOLOGIA

Geologicamente a região nordeste de Santa Catarina apresenta cenários de processos de geração de rochas e sedimentos em dois períodos bem distintos da evolução da crosta (FIGURA 3). Primeiramente ocorreu a formação do embasamento cristalino no Pré-Cambriano, com início no Arqueano, há aproximadamente 3 bilhões de anos AP, até o início do Cambriano, cerca de 545 milhões de anos AP. Já a cobertura sedimentar teve sua formação no Cenozóico, desde o Pleistoceno até o Holoceno (VIEIRA, 2008).

No Pré-Cambriano tiveram origem o Complexo Luis Alves (KAUL e TEIXEIRA, 1982), a Suíte Intrusiva Serra do Mar (KAUL *et al.* 1982b), o Complexo Paranaguá e o Grupo Campo Alegre (KAUL *et al.* 1982a), onde predominaram processos magmáticos e metamórficos. No Cenozóico, onde dominaram os processos de sedimentação, se formaram as coberturas sedimentares, em ambientes de deposição continental e marinho.

O Complexo Luis Alves é formado por Gnaisses granulíticos ortoderivados, paragneisses e gnaisses migmatíticos de origem Arqueana. Ao final do Neoproterozóico ( $\pm 540$  Ma AP) o mesmo foi intrudido pelas massas graníticas da Suíte Intrusiva Serra do Mar, que deram origem a granitos granofirídicos e alasquíticos e, quase simultaneamente, recoberto pelos depósitos vulcano-sedimentares do Grupo Campo Alegre, constituído por basaltos e riolitos (IBGE, 2001a; VIEIRA, 2008).

Ao longo da evolução da Serra do Mar, diversos processos de rifteamento das estruturas rochosas provocaram inúmeras falhas. Na área abrangida pelo Complexo Luís Alves, Suíte Intrusiva Serra do Mar e Grupo Campo Alegre, elas formam dois sistemas principais de falhas, NE-SW e NW-SE, Os terrenos rochosos do Complexo Paranaguá foram cortados, aparentemente, por um único sistema de falhas, com direção NNE-SSW (OLIVEIRA, 2006; VIEIRA, 2008).



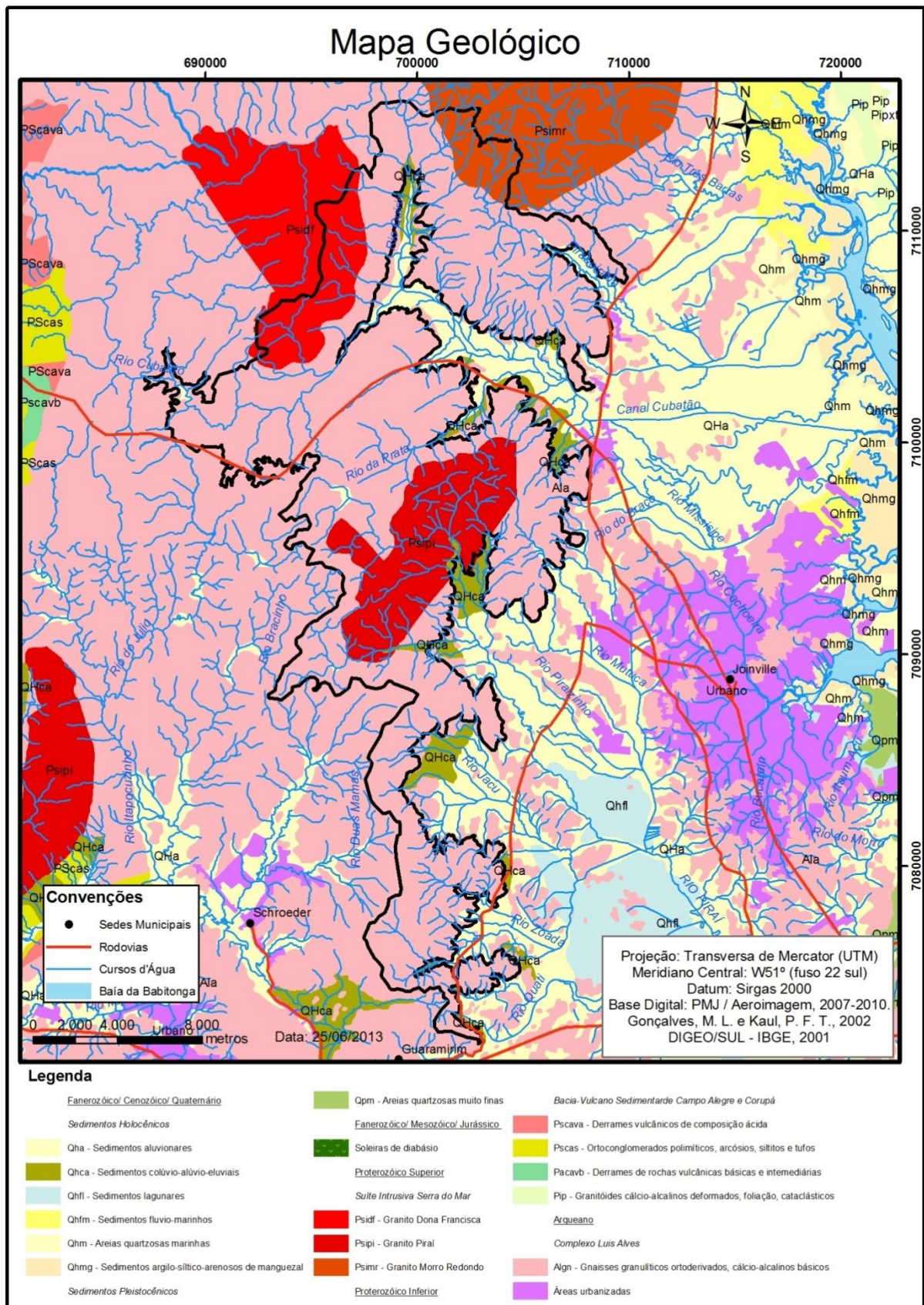


FIGURA 3: Mapa Geológico da área de estudo.



As coberturas sedimentares são constituídas por depósitos Quaternários de idade Pleistocênica ( $\pm 2$  Ma AP) e Holocênica ( $\pm 10.000$  AP). Os depósitos Pleistocênicos são terraços marinhos, com elevações médias de 15m acima do nível do mar, constituídos por areias quartzosas finas a médias com laminação plano paralela ou cruzada. Já os depósitos Holocênicos compreendem Sedimentos aluvionares (areias, cascalheiras depositadas em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial); Sedimentos coluvionares (depósitos localizados em encostas de morros) e Sedimentos flúvio-lagunares (depósitos argilo-arenosos, comumente cobertos por fina camada de matéria orgânica) (IBGE, 2001; VIEIRA, 2008).

Analisando a área de estudo é possível identificar 6 classes geológicas distintas (TABELA 1). Conforme apresentado na tabela, é possível constatar que há um predomínio de gnaisses granulíticos (Ala) com mais de  $\frac{3}{4}$  da área, seguido pelas intrusões graníticas (Psipi+Psidf+Psimr) com cerca de 21% da área. A Formação Granito Piraí (Psipi) está completamente inserida na área de estudo tomando 12,6% da área avaliada.

TABELA 1: Área e fração dos tipos geológicos na área de estudo.

<b>SIMBOLOGIA</b>	<b>TIPO</b>	<b>Áreakm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Urbano	Áreas urbanizadas	0,04	0,01
Psipi	Granitos Piraí	43,5	12,6
QHca	Depósito coluvial	1,8	0,5
QHa	Depósito aluvial	2,2	0,6
Ala	Gnaisses granulíticos	266,8	77,6
Psidf	Granitos Dona Francisca	20,0	5,8
Psimr	Granitos Morro Redondo	9,4	2,7
Total		343,7	100,0

Os depósitos coluviais e aluviais e as áreas urbanizadas juntos correspondem a pouco mais de 1% das encostas, sendo desta forma, pouco significativas no contexto geral.

### 3.2 COBERTURA PEDOLÓGICA

A cobertura Pedológica é fortemente condicionada pela compartimentação do relevo, elevada amplitude topográfica, geologia e pela cobertura florestal (OLIVEIRA, 2006). De acordo com mapeamentos (FIGURA 4) realizados e publicados pelo IBGE (2002) e pela PMJ (2011) são encontrados na área de estudo solos de 6 ordens diferentes, conforme TABELA 2.

TABELA 2: Área e fração dos tipos de solos na área de estudo.

<b><i>Simbologia</i></b>	<b><i>Solo</i></b>	<b><i>Área (km<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>%</i></b>
CXd	Cambissolo Háplico	51,55	15,0
NVdf	Nitossolo Vermelho	0,30	0,1
GXd	Gleissolo Háplico	0,33	0,1
RLd	Neossolo Litólico	141,98	41,3
CYd	Cambissolo Flúvico	1,63	0,5
PAd	Argissolo Amarelo	147,88	43,0
		343,7	100,0

Os Argissolos Amarelos são marcados pela ocorrência de um horizonte B textural (Bt) formado em processos de eluviação - iluviação, com argila de baixa atividade e nítida transição entre os horizontes A e Bt. O que marca a transferência de argila para o Horizonte B, o iluvial. São solos de profundidade acentuada. As cores podem variar de bruno forte até amarelo avermelhado, a consistência é dura, firme, plástica e pegajosa ao longo do perfil. Com textura que varia de argilosa à muito argilosa, sempre havendo aumento de argila do horizonte A para o Bt. Essa característica pode conferir aos argissolos grande fragilidade a movimentos gravitacionais, visto que a concentração de argila no horizonte B impede a infiltração aumentando com isso a umidade nesses pontos (PMJ, 2011).

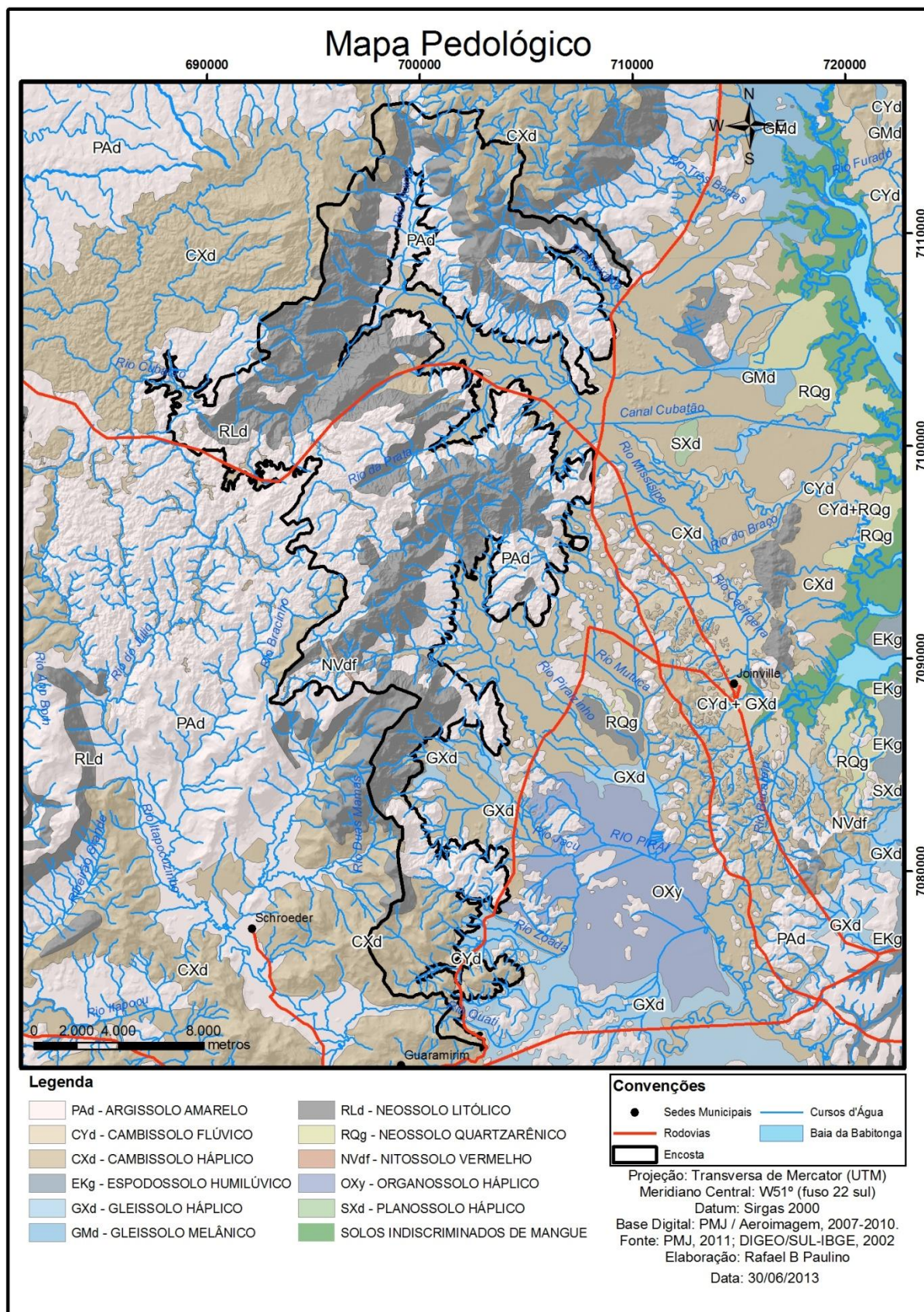


FIGURA 4: Mapa da Cobertura Pedológica da área de estudo.

Os Cambissolos Háplicos são solos jovens, pouco desenvolvidos, sem identificação de processos de formação. No entanto, há similaridade com o processo de “latolização”, pela ausência de gradiente textural e de cerosidade. As características destes solos variam muito em função da compartimentação do relevo e das condições climáticas, e pode incluir solos de rasos a profundos, bem drenados, relevo plano, com horizonte incipiente B (Bi) de textura franco argilosa no horizonte A a argilosa nos demais horizontes. As cores podem variar de bruno a bruno avermelhado. Com consistência macia a friável, plástica e pegajosa superficialmente, passando a dura e firme com a profundidade. Essa ordem sofreu intensa descaracterização nas áreas de relevo plano nas bacias dos rios Piraí e Palmital devido ao uso intenso da mecanização para o plantio do arroz irrigado (PMJ, 2011).

Os Gleissolos Háplicos são solos originados por processos de *gleização*. Solos hidromórficos, saturados por água, relevo plano, mal drenados, desenvolvidos comumente em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d’água ou em áreas de terrenos planos de terraços fluviais, lacustres e marinhos, assim como em áreas de depressões. De textura argilosa, consistência plástica e pegajosa quando molhado, e cor cinza com mosqueado amarelo (PMJ, 2011).

Os Neossolos Litólicos são solos pouco evoluídos, com ausência de horizonte B diagnóstico ou com menos de 30cm de espessura, caracterizados pela baixa modificação dos materiais originários em virtude da pequena expressão dos processos pedogenéticos. Desenvolvidos sobre substrato geológico composto por gnaisses incluem solos anteriormente conhecidos como Litossolos. Sob relevo montanhoso o risco de erosão é acentuado, embora a cobertura vegetal seja exuberante (PMJ, 2011).

Os Cambissolos Flúvicos são solos minerais marcados profundamente por influência direta de materiais de origem aluvionar, razão pela qual tem nas matas ciliares a principal área de ocorrência. Neste cenário, admite-se forte diferenciação na granulometria entre horizontes. Quanto à morfologia, os perfis de solo apresentam-se com sequência completa de horizontes A/B/C. O horizonte A, espesso, é do tipo proeminente, tem transição difusa para o horizonte B e cor bruno amarelado no matiz 10YR. A textura é franco siltosa, sendo a estrutura

moderadamente desenvolvida e dos tipos granular e blocos subangulares (PMJ, 2011).

Nitossolos Vermelhos ocorrem com exclusividade na região de Terras Baixas, onde a vegetação de cobertura deste solo pertence ao bioma Mata Atlântica. Do ponto de vista geológico, surgiram como um desvio na cobertura geológica dominante, nitidamente gnaisítica. Por esta razão, foram deslocados de Argissolos para Nitossolos, devido à marcante presença de cores vermelho intenso e cerosidade abundante, definidoras da presença de horizonte B Nítico. Neste solo, a presença de óxidos de ferro provenientes da composição mineralógica do diabásio, sob clima quente e boa drenagem interna do perfil, conferem forte estabilidade devido ao alto grau de floclação das argilas. Como consequência altamente positiva, diminuem os riscos de erosão e deslizamentos de terras, mesmo em relevo forte ondulado, riscos estes corriqueiros nos solos derivados do gnaisse (PMJ, 2011).

### 3.3 GEOMORFOLOGIA

Segundo Almeida e Carneiro (1998), a Serra do Mar faz parte de um contexto regional, como o trecho meridional final deste sistema de montanhas que se estende por cerca de 1.000 km. No nordeste catarinense, essa cadeia de montanhas com bordas escarpadas de planalto formam cordões de serras paralelas e montanhas isoladas, exercendo um controle estrutural sobre a hidrografia, que drena diretamente para o mar (FIGURA 5).



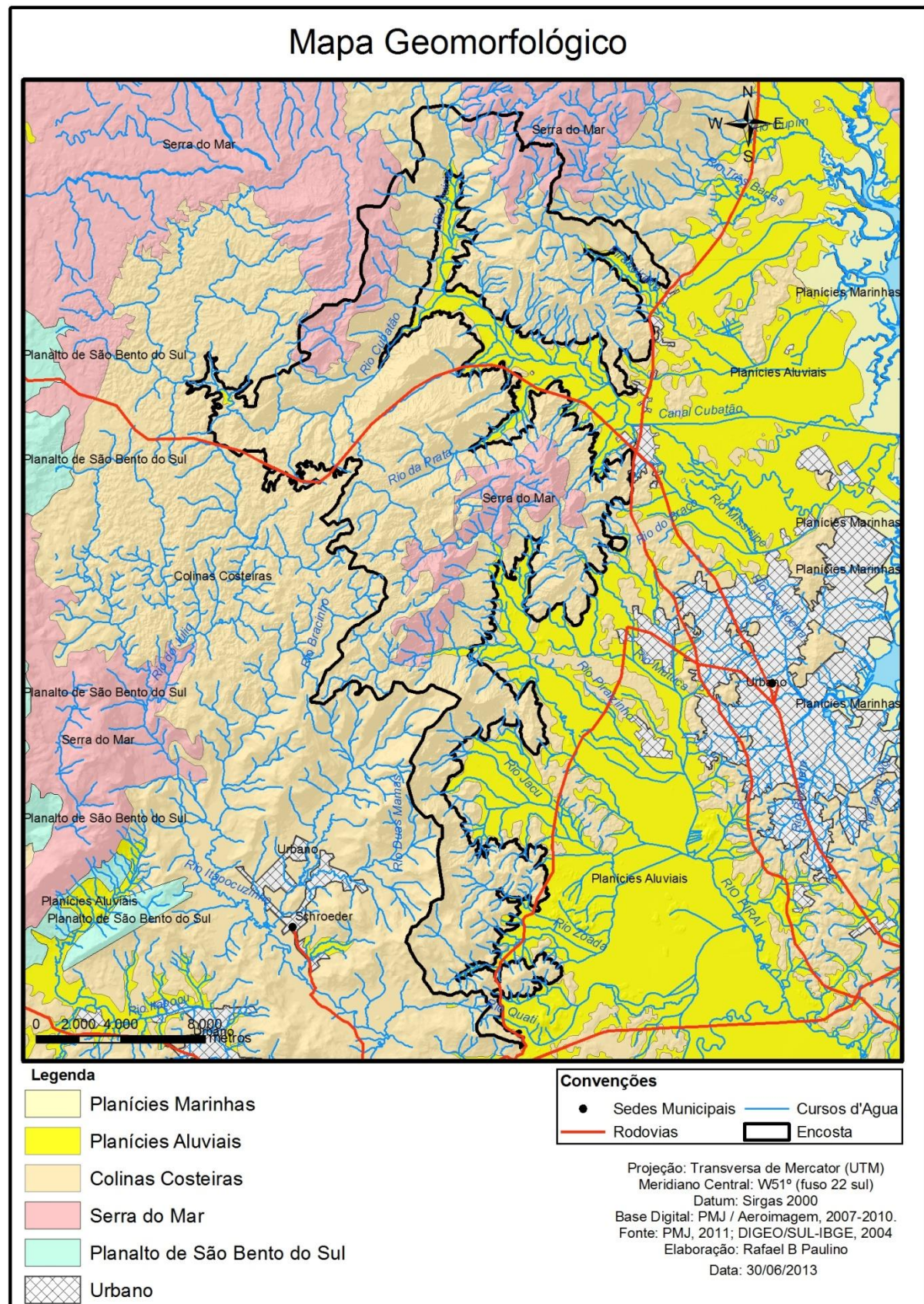


FIGURA 5: Mapa Geomorfológico da área de estudo.  
 Adaptado de IBGE-DIGEO/SUL 2004.

Segundo Almeida e Carneiro (1998) existem evidências de que a Serra do Mar abrangia grande área do sul-sudeste brasileiro e “se estendia bem mais para leste da área hoje ocupada pela plataforma continental interna” (p. 139). Para os autores, foi a ação de rios, mar e movimentos de massa de suas vertentes que a teria feito recuar durante o Cenozóico, abandonando numerosas ilhas e baixios próximos à costa.



FIGURA 6: Escarpas da Serra do Mar na bacia do Rio Cubatão.  
Foto R. B. Paulino

O domínio escarpas e reversos da Serra do Mar é composto por pelo menos duas unidades geomorfológicas, a saber: Serra do Mar e a unidade denominada localmente de Planalto de São Bento do Sul. A unidade Serra do Mar compõe o setor principal da área de estudo, e caracteriza-se pela ocorrência de cristas e picos, separados por vales profundos em “V” e encostas íngremes, como cotas elevadas que podem atingir 1.500m, isso garante uma significativa amplitude altimétrica aos vales, que podem ter até 400m (FIGURA 6). O Planalto de São Bento do Sul caracteriza-se pela formação de vales em “V” pouco profundos, de baixa amplitude topográfica, morros com topos convexos e cotas altimétricas que variam entre 750 e 900m.

Grande parte da área tem cotas altimétricas baixas, correspondentes aos depósitos sedimentares Quaternários. Algumas faixas com elevações de até cerca de 450m são destacadas no meio da planície, representando o Embasamento em estilos complexos. A Serra do Mar, do domínio rochas granitóides, é identificada como a área com as maiores classes altimétricas e abrupta ruptura do relevo. Já o Planalto de São Bento do Sul, do domínio Cobertura molassóide e vulcanitos, apresenta-se com pouca variação altimétrica (OLIVEIRA, 2006).



Alguns aspectos morfométricos foram desenvolvidos a partir dos parâmetros de Altimetria, Declividade e Orientação de Vertentes. A seguir serão apresentadas tais características.

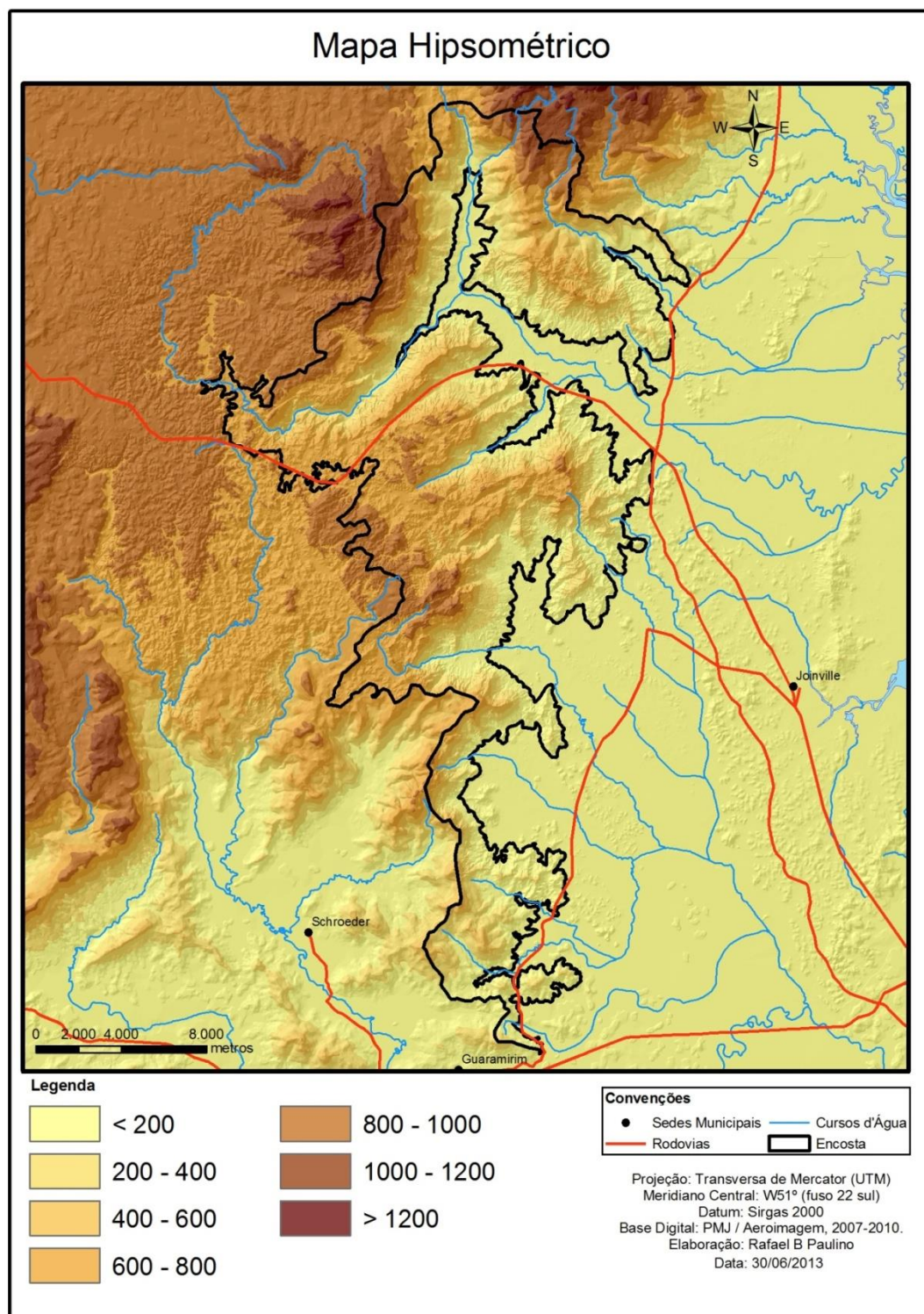


FIGURA 7: Mapa Hipsométrico da área de estudo.



A TABELA 3 apresenta as áreas e frações de cada classe hipsométrica da área de estudo, estando a maior parte da área contida nas classes que vão de 100m até 600m, representando mais de 60% da área total. Um terço de área pertence às classes que vão de 800m até 1.200mm, e ainda uma parcela menor que 3% corresponde a áreas acima de 1.000m de altitude.

TABELA 3: Área e fração das classes Hipsométricas da área de estudo.

<b>Classe Hipsométrica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
100 - 200	97,57	28,39
200 - 400	74,30	21,62
400 - 600	45,43	13,22
600 - 800	84,26	24,52
800 - 1.000	34,18	9,95
1000- 1.200	7,79	2,27
> 1200	0,13	0,04
Total	343,7	100,00

A área de estudo é muito declivosa, conforme é possível observar na TABELA 4. As declividades superiores a 20° correspondem a cerca de 40% da área de estudo, estas encostas correspondem às zonas de maior perigo a deslizamentos. A classe de declividade de menos que 5°, que correspondem nas zonas mais planas e menos susceptíveis a deslizamentos, representam pouco menos que 10% da Área de Estudo. Por último, há uma classe intermediária - que apesar das médias declividades - pode participar ativamente dos deslizamentos, com cerca de 50% da área (FIGURA 8).

TABELA 4: Área e fração classes de declividade da área de estudo.

<b>Classes de declividade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<5°	29,97	8,72
5,1 - 10°	87,25	25,39
10,1 -20°	94,04	27,36
20,1 - 30°	21,14	6,15
30,1 - 45°	95,61	27,82
> 45°	15,65	4,55
Total	343,67	100

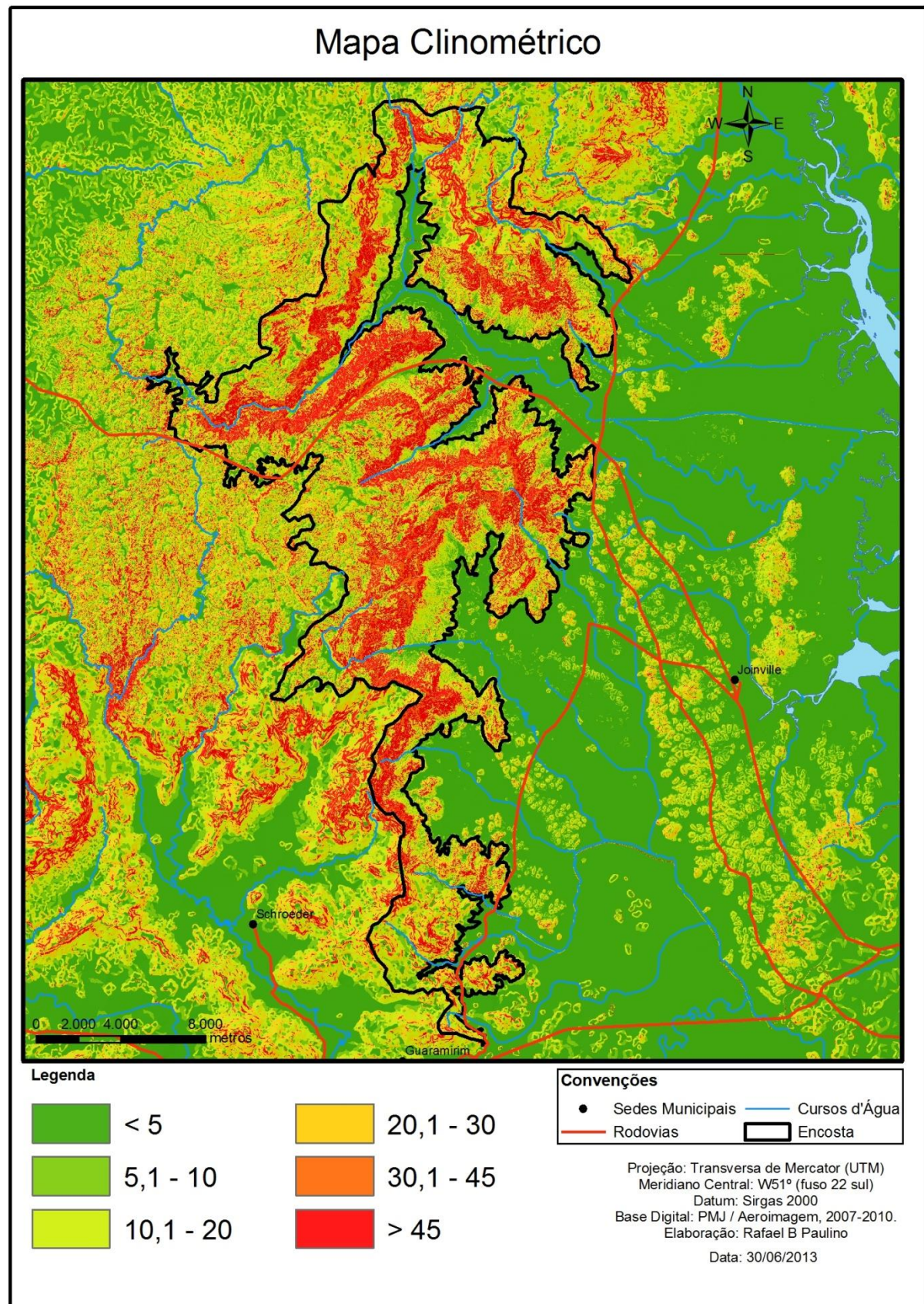


FIGURA 8: Mapa de declividade de vertentes da área de estudos.

O plano de informação Orientação de vertente (FIGURA 9) evidencia a quantidade de luminosidade que atinge a encosta, por conseguinte, reflete a tendência da encosta para a concentração de umidade. Ou seja, vertentes voltadas para posições como norte, nordeste e leste tendem a ter menos umidade do que aquelas voltadas para sul, sudeste e sudoeste.

Assim temos que, cerca de 45% da área são vertentes que recebem boa quantidade de iluminação solar. Ou seja, estas vertentes estão voltadas para norte, nordeste e noroeste. Enquanto que, 35% da área são formadas por Vertentes voltadas para sul, sudeste e sudoeste, teoricamente mais úmidas (TABELA 5).

TABELA 5: Área e fração Orientação de Vertentes da área de estudo.

<b><i>Posição da Vertente</i></b>	<b><i>Área (km<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>%</i></b>
Flat	6,43	1,87
Norte	36,49	10,6
Nordeste	43,71	12,72
Leste	56,85	16,54
Sudeste	57,20	16,65
Sul	43,12	12,55
Sudoeste	34,65	10,08
Oeste	31,15	9,07
Noroeste	34,06	9,91
Total	343,7	100,00



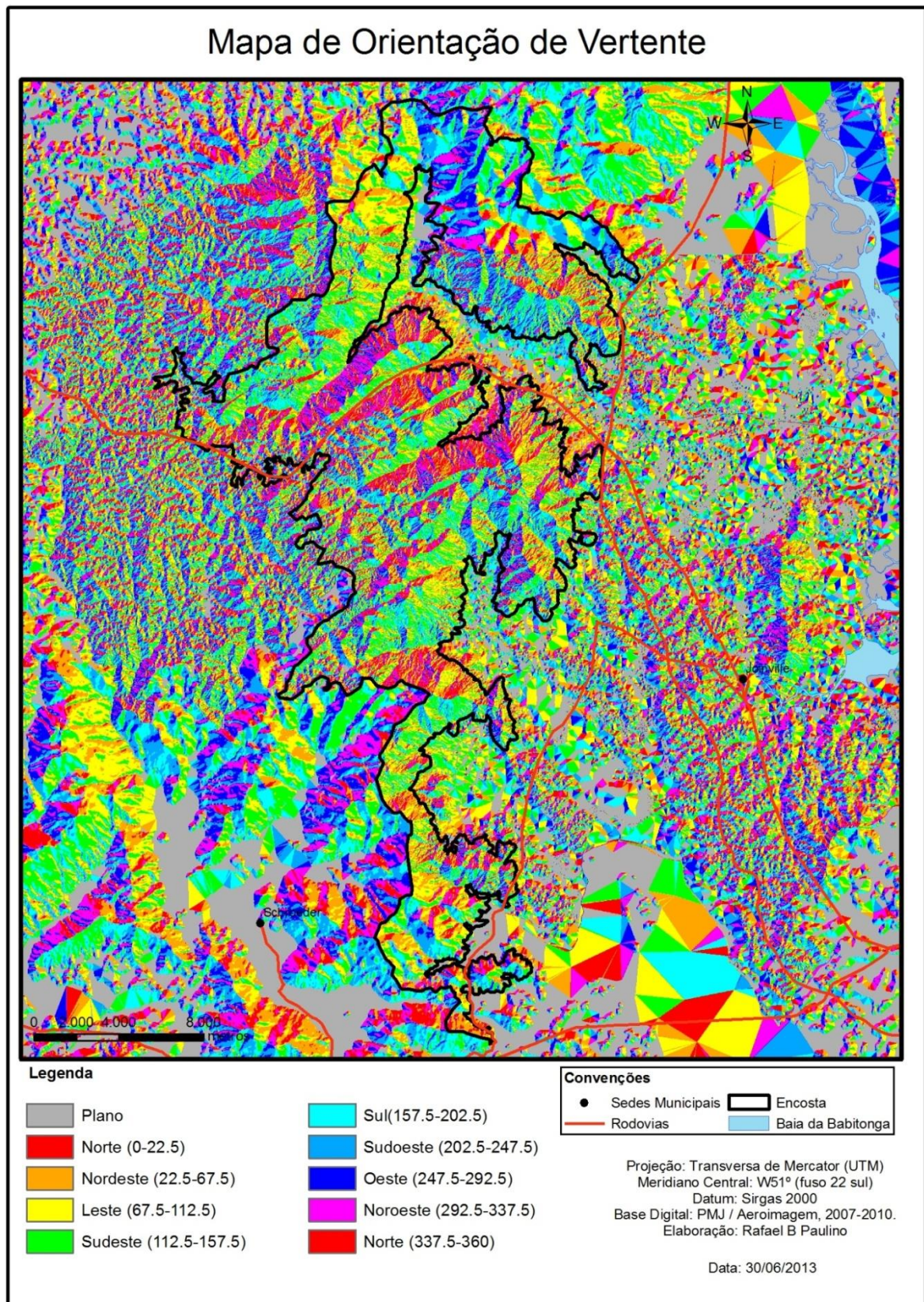


FIGURA 9: Mapa de Orientação de Vertentes da área de estudo.

### 3.4CLIMA

Segundo o modelo de classificação climática proposta por Köppen, Santa Catarina como um todo, conta com dois tipos climáticos: o clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações, com verão quente (Cfa) e o clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações, com verão moderadamente quente (Cfb). Esses dois tipos climáticos são encontrados na região nordeste de Estado. A compartimentação topográfica do relevo é apontada como a responsável por esse fenômeno. No planalto e Serra do Mar predomina o tipo climático Cfb, e o Cfa, na planície (PANDOLFO *et al.* 2002)

As massas de ar conferem à região uma complexa relação entre temperatura e precipitação, sendo as diferenças de temperatura mais significativas do que a precipitação, principalmente entre inverno e verão.

No verão, há um predomínio das massas de ar Equatorial Continental (mEc), Tropical Atlântica (mTa) e, ocasionalmente, Tropical Continental (mTc). A massa Equatorial Continental, originada sobre a Amazônia, atua na região aumentando a umidade e a temperatura, o que provoca intensa precipitação na forma de chuvas convectivas. O efeito orográfico da Serra do Mar amplia esse fenômeno. Outra fonte de umidade e altas temperaturas é a massa Tropical Atlântica (mTa), porém com menor intensidade. Com a influência da massa tropical Continental (mTc), as condições atmosféricas tendem ao predomínio do tempo quente e seco, com pluviosidade reduzida ou nula (FATMA, 2002).

O regime pluviométrico da região, fortemente condicionado pelo relevo, pode variar de 1.700 mm anuais na planície e no planalto, até 2.900mm na encosta da Serra do Mar, com ocorrência de chuvas de 120 a 180 dias por anos (GAPLAN, 1986) (FIGURA 10).



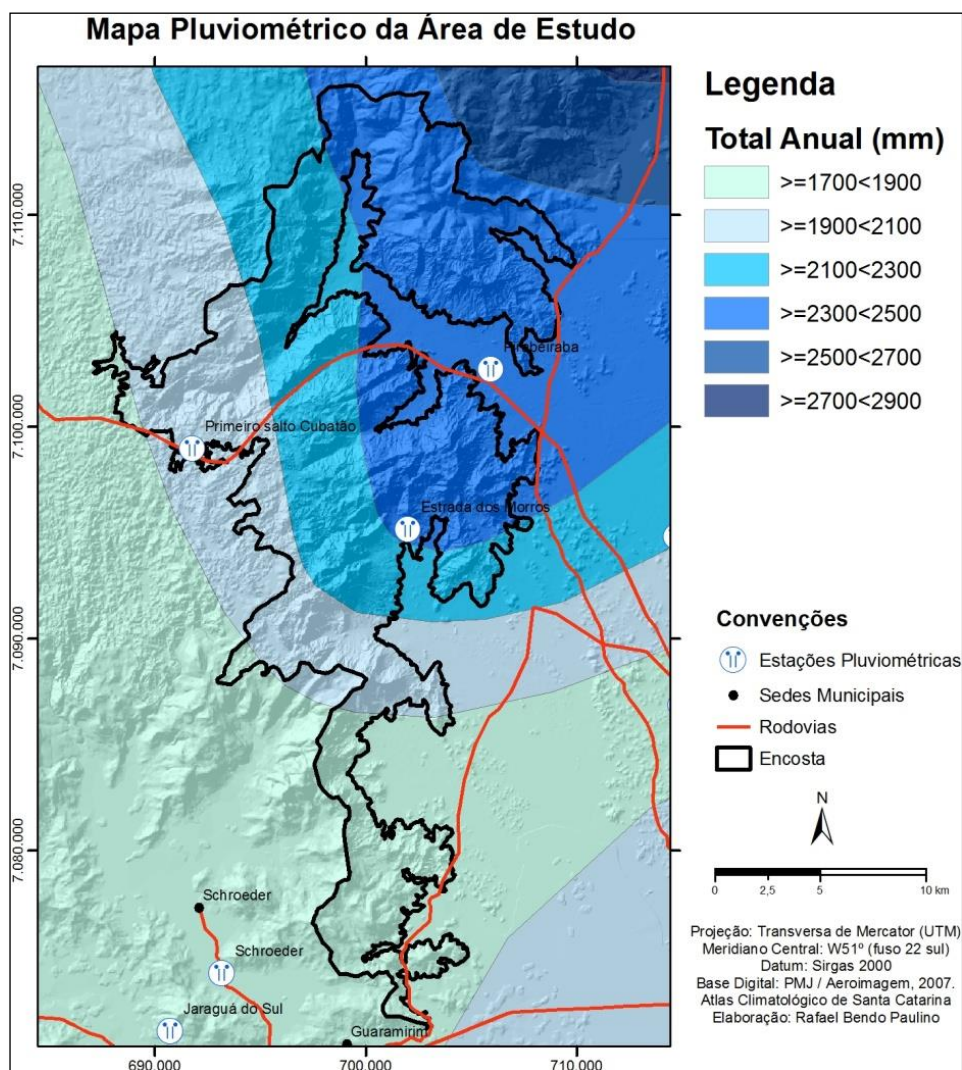


FIGURA 10: Mapa de precipitação pluviométrica.

Durante os meses de inverno, a massa Polar Atlântica (mPa) desloca as massas tropicais para o centro norte do país fazendo com que as temperaturas na região Sul caiam próximas a temperaturas negativas, podendo mesmo chegar a taxas negativas nos pontos mais altos do estado. Com a chegada da Frente Polar Atlântica (mPa) podem ocorrer chuvas com intensidade moderada, mas com duração prolongada, em geral de dias, seguidas de frio e ar seco (FATMA, 2002).

A TABELA 6 apresenta os totais anuais de precipitação para as estações pluviométricas disponíveis na área de estudo ou próximo a ela. Os dados nela contidos indicam que, efetivamente, a região é atingida sazonalmente por eventos de grande magnitude. Como por exemplo, o ocorrido em 2008, onde 4 das 6 estações registraram níveis de precipitação superiores a 3.000mm (a estação Pirabeiraba mesmo sem computar todos os meses também supera essa marca),

sendo que a estação Estrada dos Morros registrou mais de 4.400mm. Volumes superiores a 3.000mm podem ser encontrados mais de 15 vezes nesse período.

TABELA 6: Período de dados utilizados das estações de 1995 a 2011, com totais de precipitação anual (mm).

<i>Nome</i>	<i>Pirabeiraba</i>	<i>Primeiro salto Cubatão</i>	<i>Campo Alegre</i>	<i>Garuva</i>	<i>Jaraguá do Sul</i>	<i>Estrada dos Morros</i>
<i>Ano</i>						
<b>1995</b>	2838,4	2881,3	1743,7	2735,6	1633,9	<b>2185,9</b>
<b>1996</b>	2839,5	2626,0	1986,1	2889,7	1678,8	2851,0
<b>1997</b>	2718,5	2180,0	1666,3	2383,0	<b>1688,1</b>	3248,3
<b>1998</b>	3047,1	3035,8	<b>1931,0</b>	3047,0	2837,0	3620,1
<b>1999</b>	2708,3	2410,8	1448,9	2863,7	2243,7	3306,0
<b>2000</b>	2047,6	1934,4	1325,2	2152,2	1643,4	2513,5
<b>2001</b>	2894,0	2751,7	1766,4	1160,5	2244,6	3127,7
<b>2002</b>	2178,0	<b>1039,7</b>	1613,0	2272,6	1776,3	2339,1
<b>2003</b>	2094,8	2091,3	1201,1	2246,3	1377,1	2148,1
<b>2004</b>	1988,8	2285,5	1347,1	2583,5	1740,7	2665,0
<b>2005</b>	<b>1106,9</b>	1985,6	1701,3	2619,8	1860,0	2553,5
<b>2006</b>	<b>1700,5</b>	1779,8	761,7	2304,3	1495,4	2655,2
<b>2007</b>	<b>440,9</b>	2081,6	1541,7	2327,1	1987,4	<b>1784,3</b>
<b>2008</b>	<b>3009,0</b>	3339,3	1475,1	3877,4	2829,6	4491,1
<b>2009</b>	2401,4	2254,6	1570,4	2694,8	2044,9	2972,7
<b>2010</b>	3417,7	3404,7	<b>1732,6</b>	3271,4	2958,5	4348,1
<b>2011</b>	3011,9	3308,5	1762,2	2876,1	3123,8	3832,9
<b>Média</b>	2629,7	2521,9	1510,6	2589,3	2023,4	3060,0

Obs.: Os valores em **negrito** correspondem a dados incompletos de coleta.

Na FIGURA 11 é possível analisar a quantidade total de precipitação mensal para as mesmas estações. Aqui são destacados os picos de precipitação superiores a 1.000mm (dois casos) e as mais de três dezenas de picos superiores a 600mm. Os maiores totais mensais concentram-se nos meses de verão, sendo janeiro o mês com a maior frequência. Porém salienta-se que picos são comuns em outras estações do ano, como o registrado na primavera de 2008 que atingiu Santa Catarina, deixando mais de uma centena de mortos e incontáveis prejuízos econômicos ao estado. Neste evento as estações de Garuva e Estrada dos Morros registraram precipitação superior a 1.000mm cada, o que provocou diversos deslizamentos na área de estudo.

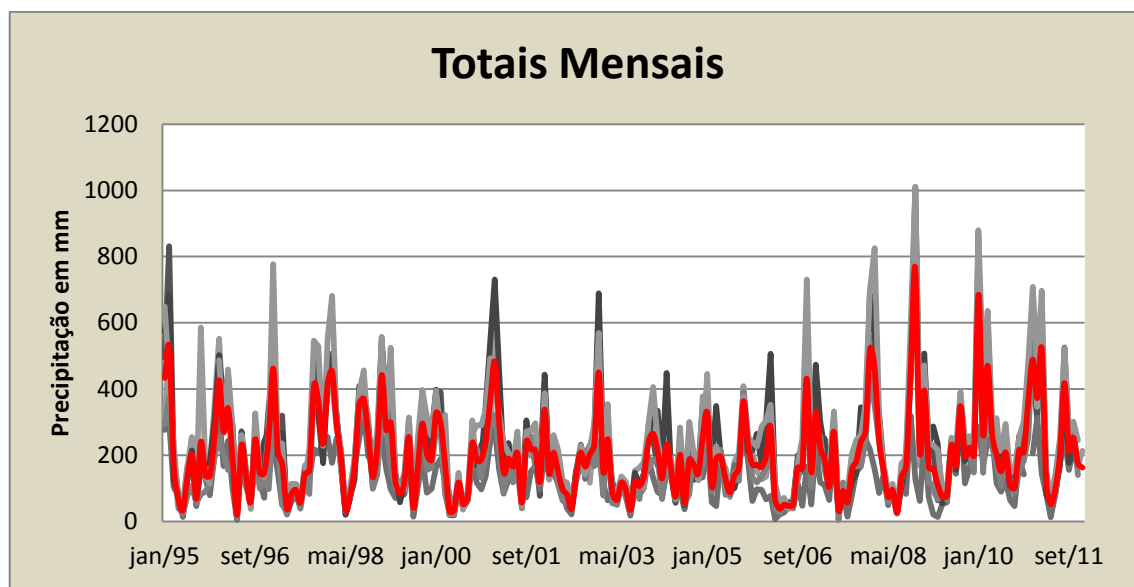


FIGURA 11: Precipitação mensaldas estações entre o período de 1995 a 2011. As linhas em tons de cinza representam os valores registrados pelas estações. A linha vermelha é média entre elas.

A TABELA 7 foi construída para identificar as máximas precipitações diárias de cada estação, independente do ano. Vale destacar que nesta tabela não é pretendido identificar o evento de ocorrência, e sim o volume registrado. Desta forma, pode-se inferir os meses em que ocorrem os maiores volumes. De fato, as máximas diárias frequentemente são registradas nos meses de verão, como era esperado, sendo janeiro o mês com maior frequência de máximas diárias. No entanto há exceções, uma delas registrada na estação Garuva, que é justificada pelo evento ocorrido em novembro de 2008. A outra foi registrado no mês de setembro de 1995 pela estação Primeiro Salto do Cubatão. Esta sendo a maior precipitação diária registrada entre todas as estações para o período analisado. Alguns indícios apontam para um erro de leitura nesse registro.

TABELA 7: Máxima precipitação diária registrada no período de 1995 a 2011.

<b>Nome</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Pirabeiraba	175	252	156	114	100	95	123	87	117	88	232	99
Primeiro Salto Cubatão	155	168	118	82	76	88	126	89	384	98	76	149
Campo Alegre	86	97	61	78	136	100	95	78	89	76	74	96
Garuva	225	183	174	91	55	91	134	131	108	98	225	92
Jaraguá do Sul	292	105	122	58	62	61	141	81	91	106	224	129
Estrada dos Morros	260	170	179	118	52	81	115	90	122	146	209	112



### 3.5 VEGETAÇÃO

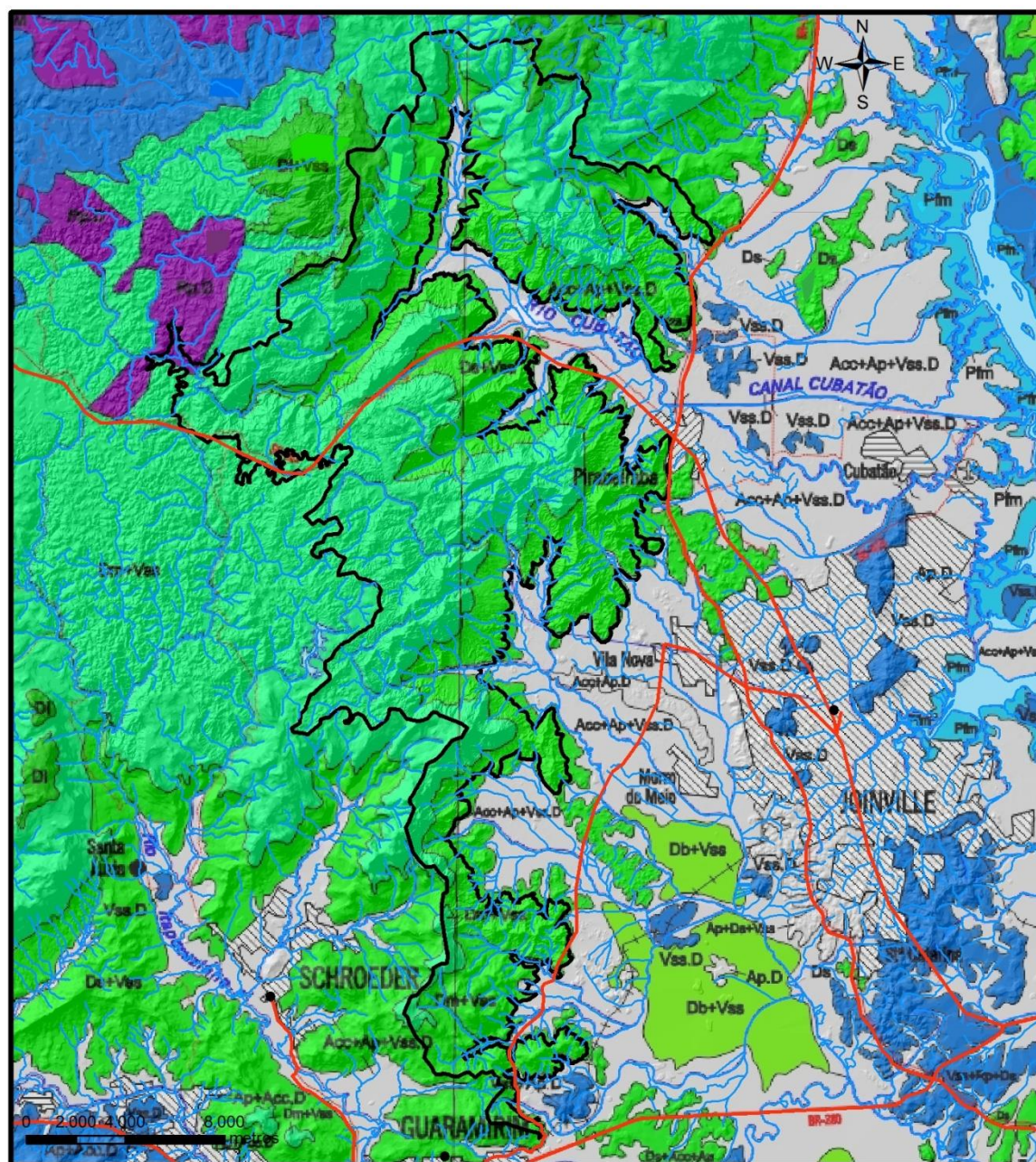
A cobertura florestal da área de estudo é dominada pelo bioma Mata Atlântica, o que garante uma diversidade de ecossistemas desde a faixa litorânea até o planalto. A cobertura vegetal original da região nordeste de Santa Catarina, apesar de intensamente alterada pela expansão urbana na planície, é composta por diferentes subformações da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical), da Floresta Ombrófila Mista, Savanas e por Formações Pioneiras (IBGE, 2002) (FIGURA 12).

Nas encostas da Serra do Mar há uma ligeira variação fitofisionômica que obedece a espessura do solo e por consequência a disponibilidade de umidade. Onde os solos são mais espessos ocorrem espécies arbóreas de grande porte como o olandim (*Calophyllum brasiliense*) e a canela-garuva (*Nectrandrarigia*). Nas áreas de solos delgados de média encosta surgem espécies de canelas e de coniferales (*Podocarpus*). Nas partes mais íngremes da encosta, onde há solos litólicos predominam os cambuins, congonhas e taquarais, além de formações arbóreas mesofanerofíticas, áreas estas conhecidas como "mata nebulosa".

A região da Floresta Ombrófila Mista, muda a fitofisionomia local, caracterizada pela presença do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) no estrato superior, com sub-bosque dominado por lauráceas (imbuías, canelas). Situa-se nas áreas de planalto, em altitudes superiores a 1.000m.

No Planalto de São Bento do Sul vemos que, nos Campos de Altitude, surgem formações de gramíneas, ciperáceas e grupos esparsos de arbustos e árvores que se desenvolvem em terrenos aplainados acima de 1.200m de altitude.

## Mapa da Cobertura Vegetal



### Legenda

- |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:darkgreen; border:1px solid black;"></span> Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgray; border:1px solid black;"></span> Agricultura ou Pastagens                                                     |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:mediumseagreen; border:1px solid black;"></span> Floresta Ombrófila Densa Submontana   | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:purple; border:1px solid black;"></span> Reflorestamento com Pinus                                                       |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgreen; border:1px solid black;"></span> Floresta Ombrófila Densa Montana          | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightblue; border:1px solid black;"></span> mangue                                                                       |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellowgreen; border:1px solid black;"></span> Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana    | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border:1px solid black;"></span> Urbano |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:blue; border:1px solid black;"></span> Vegetação Secundária                            |                                                                                                                                                                                                       |

### Convenções

- |                                                                                                                                  |                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:black; border-radius:50%;"></span> Sedes Municipais | <span style="display:inline-block; width:20px; border-bottom:1px solid blue;"></span> Cursos d'Água                                    |
| <span style="display:inline-block; width:20px; border-bottom:2px solid red;"></span> Rodovias                                    | <span style="display:inline-block; width:20px; height:10px; background-color:lightblue; border:1px solid blue;"></span> Baía Babitonga |

Projeção: Transversa de Mercator (UTM)  
 Meridiano Central: W51° (fuso 22 sul)  
 Datum: Sirgas 2000  
 Base Digital: PMJ / Aeroimagem, 2007-2010.  
 Fonte: PMJ, 2011; DIGEO/SUL-IBGE, 2002  
 Elaboração: Rafael B Paulino  
 Data: 30/06/2013

FIGURA 12: Mapa da cobertura vegetal da área de estudo.  
 Compilado de IBGE-DIGEO/SUL 2002.

### 3.6 HIDROGRAFIA

Segundo a proposta da Agência Nacional de Águas - ANA, a região nordeste de Santa Catarina está inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Sul. Já na divisão estadual, as suas bacias pertencem às da Vertente Atlântica da Serra do Mar inserida na Região Hidrográfica 06 - Baixada Norte. A condição do relevo, associado às condições climáticas e à cobertura vegetal, interfere positivamente no regime hídrico das bacias da região.

A área de estudo, que é formada pelas encostas das Serra do Mar, está inserida em três bacias hidrográficas. São elas: bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, bacia Hidrográfica do Rio Pirabeiraba, integrantes do complexo hídrico da baía da Babitonga, e a bacia Hidrográfica do Rio Piraí, afluente da margem esquerda do Rio Itapocú (FIGURA 13).

A bacia hidrográfica do Rio Cubatão é a maior e mais importante do complexo da baía da Babitonga com área drenada de cerca de 485 km<sup>2</sup>. Sua nascente está localizada na serra queimada a 1.160 m acima do nível do Mar. Após percorrer 87 km o rio deságua no canal do Palmital com uma vazão média de 17,7 m<sup>3</sup>/s (FATMA, 2002). Seus principais afluentes são o Rio Quiriri, o Rio da Prata, e o Rio do Braço. Com base no levantamento do IBGE na escala de 1:50.000 a densidade de drenagem desta bacia é de 1,23km/km<sup>2</sup>.

A bacia hidrográfica do Rio Pirabeiraba drena uma área de 58,2 km<sup>2</sup>. Desde a nascente, a 1.188 m de altitude, até sua foz no canal do Palmital o rio Pirabeiraba percorre 27,52 km com uma declividade média de 4,32% e densidade de drenagem de 1,63 km/km<sup>2</sup>. Seu principal afluente é o Rio Canela.

O rio Piraí é um importante manancial da região para a manutenção da rizicultura. Sua bacia de drenagem tem cerca de 570 km<sup>2</sup>, sendo mais da metade dessa área localizada no município de Joinville, tendo uma vazão média na foz de 22,4 m<sup>3</sup>/s e uma densidade de drenagem de 1,18 km/km<sup>2</sup>. Esse rio recebe contribuição dos rios Águas Vermelhas, Quati, Dona Cristina e Rio do Salto.



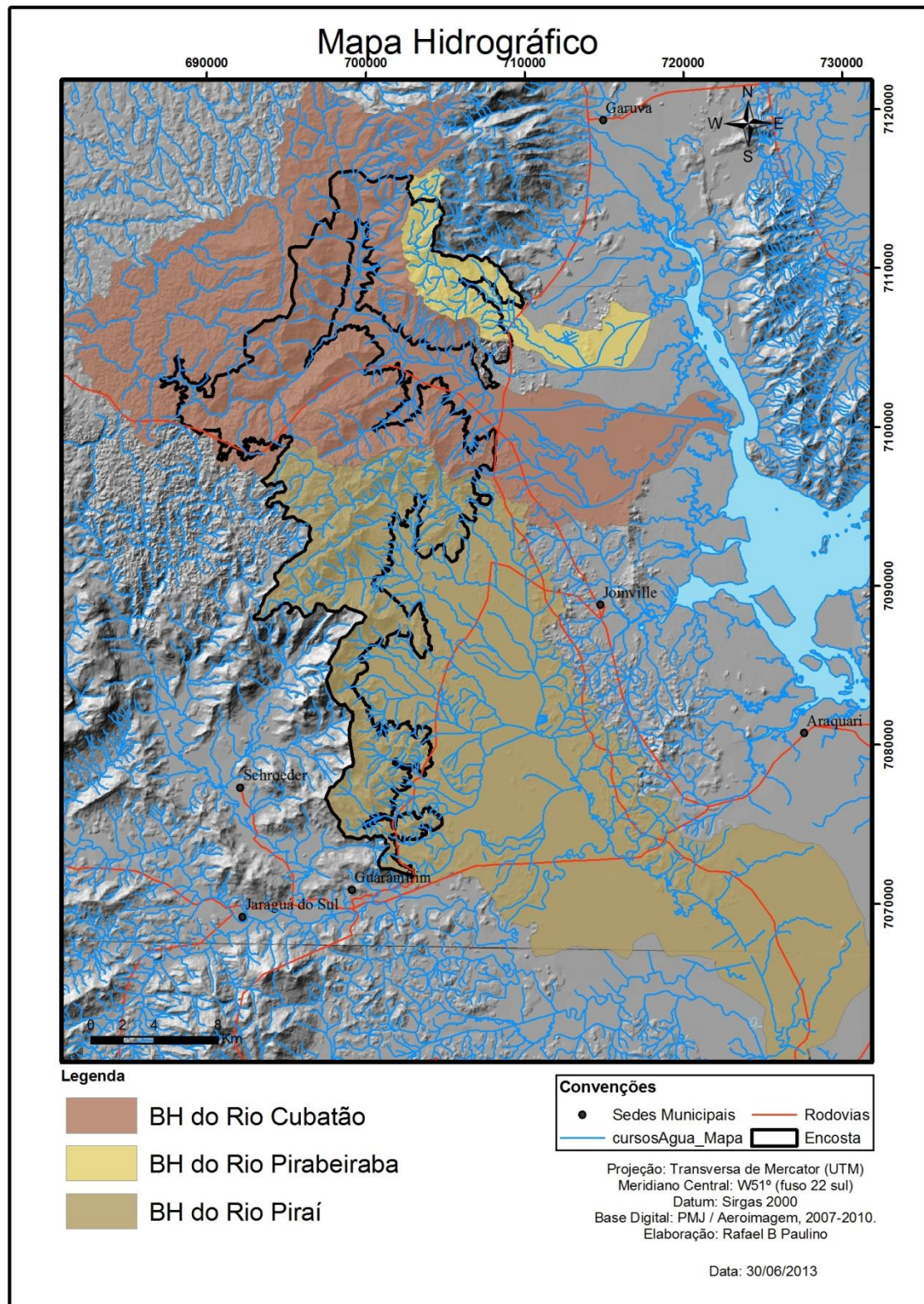


FIGURA 13: Mapa da rede de drenagem e identificação das bacias estudadas.

#### 4 A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DA SERRA DO MAR

A Serra do Mar é um sistema de montanhas, originada em processos tectônicos policíclicos durante o Mesozóico e o Cenozóico, de destacada feição orográfica da borda leste da América do Sul, estendendo-se por quase 1.000 km desde o Rio de Janeiro até o norte de Santa Catarina (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998). Sua origem e evolução estão associadas a eventos tectônicos, isostáticos e climáticos ocorridos desde a formação da plataforma continental sul-americana (RIBEIRO *et al.* 2011) .

A Serra do Mar está localizada em uma margem continental longe do limite de placas, não apresentando assim, grande atividade tectônica, sem vulcões ativos e terremotos. Com efeito, essa característica é típica de margens passivas. Formadas por processos de rifteamento as margens passivas são importantes feições morfológicas estruturalmente compostas pela fossa tectônica (graben) ladeada por blocos soerguidos (horst) (FIGURA 14) (SUMMERFIELD, 1991; ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

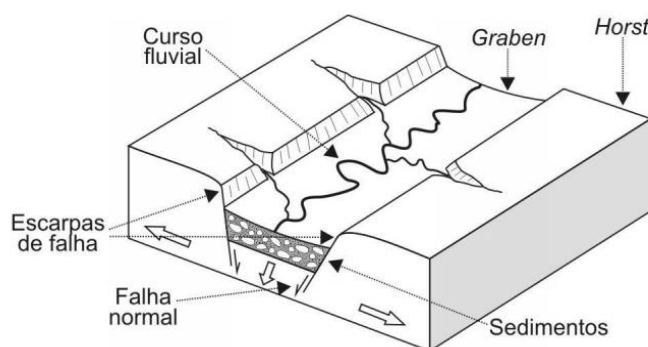


FIGURA 14: Representação da estrutura de um rifte simétrico.  
Fonte: Summerfild (1991)

Para Almeida e Carneiro (1998), em sua origem a Serra do Mar estendia-se mais a leste que a sua posição atual. As superfícies de aplainamento relíquias encontradas ainda hoje nas regiões sul e sudeste, sugerem que necessariamente essa forma orográfica ocupava a atual plataforma continental.

Para compreender a evolução da Serra do Mar Almeida e Carneiro (1998) desenvolveram estudos a partir de falha na atual plataforma continental de onde teria iniciado o recuo das vertentes até a posição geográfica atual.

A mesma erosão que ao longo do tempo fez com que a Serra do Mar fosse recuando até a posição geográfica atual poderia ter rebaixado toda essa cadeia de montanha, no entanto à medida que os sedimentos foram sendo transportados e depositados na bacia oceânica o relevo sofria um ajuste isostático fazendo com que a Serra do Mar fosse basculada, esse fenômeno foi facilitado pela alta concentração de falha e fraturas originadas no processo de rifteamento (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998). Essa complexa trama de acontecimentos explica a vasta variedade de tipos litológicos que compõem a Serra do Mar.

De acordo com Summerfield (1991) nos estágios iniciais de formação do rifte os processos erosivos são mais intensos. Portanto, em margens maduras como as do leste do Brasil, o processo de desmonte erosivo teria tempo suficiente para aplainar as escarpas. No entanto, não é o que ocorre, pois à medida que a erosão vai atuando sobre a Serra do Mar a região marítima costeira sofre o processo de subsidência forçando o soerguimento da porção continental adjacente.

Para Summerfield (1991) a tectônica exerce importante controle no sistema de drenagem. Por isso a rede hidrológica pode ser utilizada na investigação de modificações nos padrões geológicos sobre o qual se adaptou. Diversos autores usaram a interpretação da rede hidrográfica como um importante indicador da evolução do relevo regional (SUMMERFIELD, 1991; SAADI, 1993; SALGADO, 2006; RIBEIRO *et al.* 2011; SALDADO *et al.* 2012; entre outros).

O controle estrutural da drenagem pode gerar um fenômeno conhecido como captura fluvial. Nas cabeceiras de drenagem onde a incisão erosiva for mais enérgica do que o curso fluvial adjacente, devido a fatores como inclinação da vertente, maior descarga, rochas menos resistentes, pode ocorrer a captura da drenagem vizinha. Estudos na Serra do Mar apontam um maior potencial erosivo na vertente atlântica do que na vertente do interior (SALGADO, 2006; SALDADO *et al.* 2012; RIBEIRO *et al.* 2011; MARENT, 2011; entre outros). Segundo Saadi (1998), a drenagem das margens passivas responde ao soerguimento com corte de vales profundos, capturas fluviais e adaptação à orientação do basculamento dos blocos.

Sendo assim, destaca-se o papel da Serra do Mar no aporte de sedimentos e no reajuste de drenagem (MARRENT, 2011).

A partir da sua origem a Serra do Mar vêm evoluindo por meio de processos de soerguimento, intemperismo, erosão, transporte e deposição. Durante o Jurássico ( $\pm 145$ Ma) há um soerguimento termal que gera esforços para a separação da África e América do Sul. Esse evento foi seguido por outros até a separação definitiva dos continentes e a formação da dorsal oceânica, no final do Cretáceo Inferior ( $\pm 113$  a  $100$  Ma). Em seguida, uma fase de subsidência no final do Cretáceo Superior ( $\pm 73$ Ma) gerou um basculamento da plataforma levando a formação de uma ampla região elevada denominada de Proto-Serra do Mar (FIGURA 15). Estudo da Bacia de Santos, obtidos pela PETROBRÁS, sugerem a existência de uma fonte de sedimentos grossos próximo a sua borda atual durante o Cretáceo Superior, indicando existência da proto-Serra do Mar (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

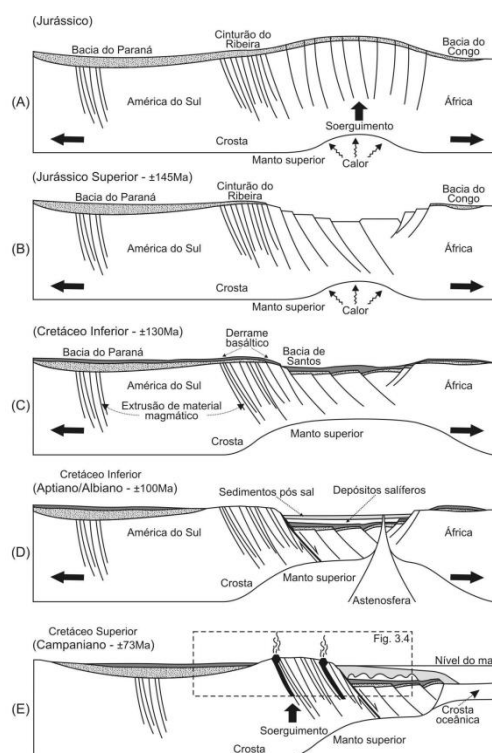


FIGURA 15: Sequência evolutiva da margem sul-sudeste do Brasil durante o período juro-cretáceo.

Fonte: Almeida e Carneiro (1998)

Segundo Almeida e Carneiro (1998), conforme Figura 16, por volta do final do Cretáceo Superior (89-65MA) houve um novo soerguimento termal afetando câmaras magmáticas não solidificadas, trazendo esse material à superfície. Esse

fenômeno gravitacional continuou agindo sobre a superfície até Mioceno (20MA) provocando a formação de uma sequência de riftes paralelos à costa. Zálan e Oliveira (2005) sugerem que a elevação vertical do relevo causada pelo soerguimento da Serra do Mar provocou um aumento significativo na carga de sedimentos em direção ao interior dos riftes e bacias adjacentes. Essa erosão teria feito a Serra do Mar recuar da Falha de Santos até a posição atual. No entanto, para Hasui *et al.* (1998) o estabelecimento de uma drenagem mais competente só teria se estabelecido durante o Quaternário, e em seguida evoluído para a drenagem atual. Sendo assim, só durante o Pleistoceno que o relevo começou a adquirir a forma atual.

De fato, conforme demonstram os fatos geológicos e geomorfológicos, a Serra do Mar é fruto de um recuo diferencial das suas vertentes que teria origem na escarpa de Falha de Santos (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

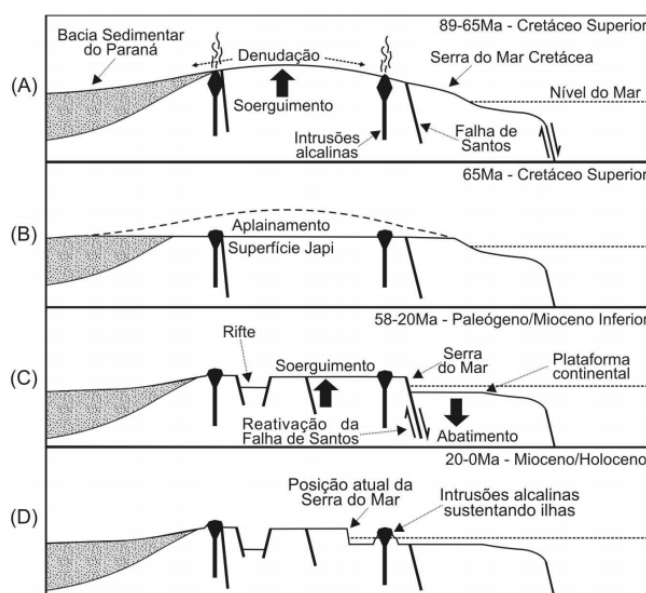


FIGURA 16: Sequência evolutiva Neocretácea-Cenozóica da Serra do Mar.

Fonte: Almeida e Carneiro 1998.

Atualmente a evolução das escarpas da Serra do Mar é resultado da ação direta de agentes intempéricos provocados por fenômenos climáticos das zonas tropical e subtropical. Numa região de níveis pluviométricos elevados, a Serra do Mar sofre a ação de eventos extremos que provocam intensa descarga de energia vinda do oceano atlântico.



## 5 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

### 5.1 CLASSIFICAÇÕES DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os movimentos gravitacionais de massa são muito frequentes em todas as regiões da Terra. Contudo, são catástrofes como os terremotos e os furacões que chamam mais a atenção, por sua raridade e elevada magnitude dos eventos. No entanto, devido à sua larga abrangência e alta frequência, os movimentos gravitacionais são mais danosos às propriedades ao longo dos anos, comumente causando perdas humanas (VARNES, 1984).

Movimentos gravitacionais de massa ocorridos em cabeceiras de drenagens e encostas são importantes mecanismos de transporte dos sedimentos das áreas fontes às redes fluviais. A entrada desses sedimentos na rede fluvial varia no tempo e no espaço. Nas regiões tropicais e subtropicais, sem ocorrências de terremotos e degelo, é a duração e a intensidade das tempestades que comanda a sequência complexa de pulsos de entrada de sedimentos na rede fluvial (CHARLTON, 2008).

De forma geral, os deslizamentos se referem às várias maneiras em que o regolito, solo, rocha ou uma mistura de todos eles se movem encosta a baixo induzidos pela gravidade. Nos casos em que a ação é determinada pelos agentes água, vento e gelo tem-se os processos de transporte de massa (HUTCHINSON, 1968; SUMMERFIELD, 1991; CHARLTON, 2008).

Esses movimentos podem ocorrer de diversas formas, dependendo da variedade de materiais, processos e de fatores condicionantes envolvidos (FIGURA 17). Vários autores tentam propor uma classificação para este fenômeno utilizando diferentes critérios, dentre eles; Sharpe, 1938; Hutchinson, 1968; Varnes, 1978; Crozier, 1986; entre outros. No Brasil destacam-se as classificações de Freire (1965) e Guidicini e Iwasa (1976).



FIGURA 17: Deslizamentos do tipo corrida de detritos ocorridos em 2011 na bacia do Piraí.  
Foto F.A. Oliveira

Segundo Varnes (1978) os movimentos gravitacionais podem ser classificados de acordo com o tipo do movimento (quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamento, corridas) e do material transportado (solo, rochas e detritos), conforme TABELA 8.

TABELA 8: Classificação dos Movimentos de Massa (VARNES, 1978).

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	MATERIAL INCONSOLIDADO	
		GROSSO	FINO
QUEDA	Queda de rochas	Quedas de detritos	Queda de Solo
TOMBAMENTO	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de Solo
ESCORREGAMENTO	Escorregamento em rocha	Escorregamento em detritos	Escorregamento em Solo
ESPALHAMENTO	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos	Espalhamento de solo
CORRIDA/ESCOAMENTO	Corrida de rocha	Corrida de detritos	Corrida de lama

Há vários termos usados como sinônimo a movimentos gravitacionais de massa, o termo deslizamento denota o movimento de massa de rochas, detritos (*Debris*) ou sedimentos encosta a baixo. Por isso são associados às regiões montanhosas da Terra onde ocorram intensos ou longos períodos de precipitação, abalos sísmicos e ou degelo, muitas vezes causando significantes mudanças topográficas das encostas e planícies. Esses movimentos constituem sérios riscos à vida humana e a infraestrutura construída. O conhecimento das características e dos mecanismos destes movimentos é fundamental nas ações de mitigação e precaução contra os eventos geradores de danos (CHEN e LEE, 2003). No entanto, os deslizamentos não estão restritos as áreas íngremes e com acentuado índices pluviométricos. Eles podem ocorrer em qualquer lugar, visto que há diversos mecanismos desencadeadores envolvidos na deflagração desses eventos (FIGURA 18) (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

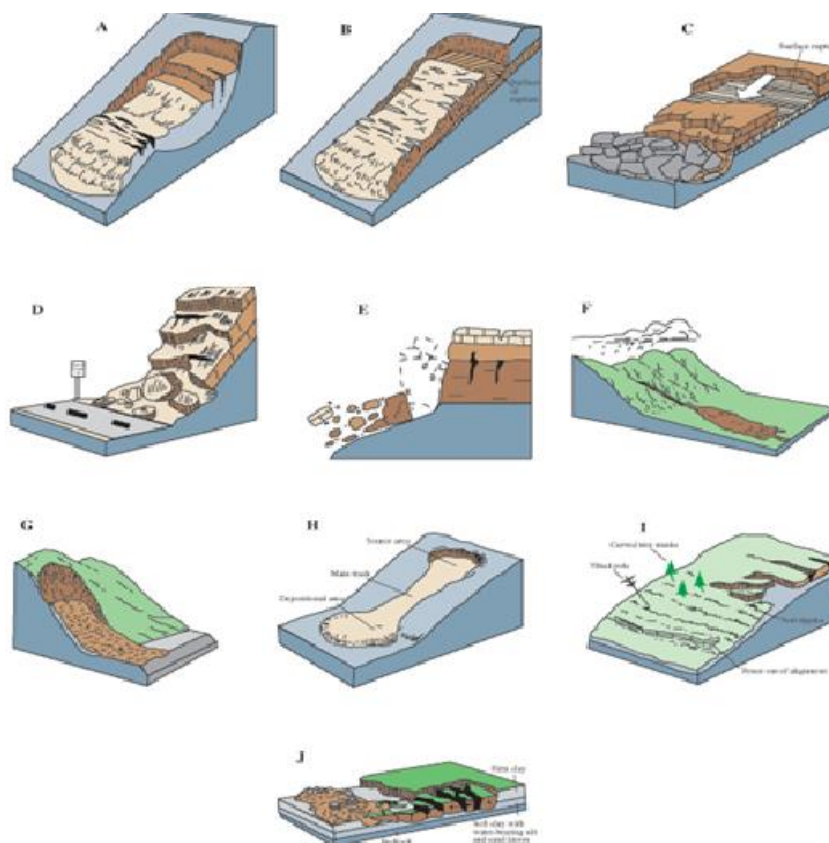


FIGURA 18: (A) Deslizamento Rotacional; (B) Deslizamento Translacional; (C) Corrida de Bloco; (D) Queda de Blocos; (E) Tombamento; (F) Fluxo de Detritos; (G) Avalanche de Detritos; (H) Fluxo de Terra; (I) Rastejamento e (J) Espalhamento.  
Fonte: (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

## 5.2 FATORES CONDICIONANTES AOS DESLIZAMENTOS

A encosta permanecerá estável enquanto a razão entre o somatório das forças que impulsionam o material para as áreas mais baixa da mesma ( $T$ ) forem menores que as forças de resistência ao cisalhamento que se opõem a esse movimento ( $\tau$ ). Conhecido como Fator de Segurança ( $FS$ ) (CHARLTON, 2008), ele é apresentado pela equação 1:

$$\text{Equação 1 - } FS = \Sigma(\tau)/\Sigma(T)$$

A encosta encontra-se na situação limite de estabilidade quando  $FS$  é igual a 1. Na situação  $FS < 1$  tem-se a instabilidade da encosta, e quando  $FS > 1$  tem-se a estabilidade da encosta. Sendo a encosta mais estável, quanto maior for o valor de  $FS$ . No entanto, está não é uma condição absoluta e sim uma probabilidade que cresce com o aumento de  $FS$  (SELBY, 1993). A FIGURA 19 apresenta de forma didática as forças que atuam sobre o material de encostas. Notar que o modelo aplica-se a rupturas planares.

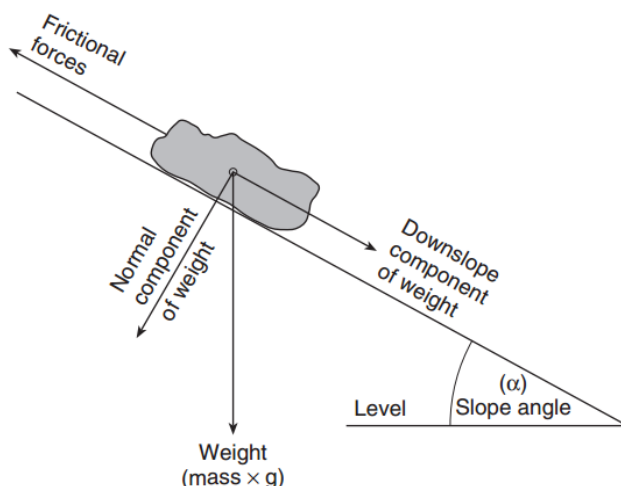


FIGURA 19: Estabilidade da encosta.  
Fonte: (Charlton, 2008)

No entanto, a estabilidade da encosta é desfeita quando uma cadeia de fatores e eventos interagindo individualmente ou em conjunto alteram as condições

iniciais de estabilidade aumentando ou diminuindo a tensão cisalhante (VIEIRA,2007).

Os deslizamentos são condicionados por uma intensa relação de fatores que atuam de forma interativa, não devendo, portanto, ser analisados de forma isolada (VIEIRA, 2007; entre outros). Os fatores condicionantes a movimentos gravitacionais podem ser variáveis agrupadas nos seguintes campos: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Clima, Cobertura Vegetal e a Ação Humana (KOZCIAK, 2005).

O papel desempenhado pela Geologia é largamente discutido na literatura, a composição litológica e suas características estruturais determinaram a permeabilidade, tipo de textura e a drenagem. Como consequências as vertentes podem apresentar zonas de fraqueza, estabelecendo assim o sentido do fluxo de escoamento, provocando com isso erosão concentrada e deslizamentos (FIORI, 1995).

O gnaiss e o granito, com maciça presença na área de estudo, têm como características a forte resistência ao intemperismo, além de baixas porosidade e permeabilidade. Entretanto, nas regiões tropicais e subtropicais úmidas, essas rochas são largamente intemperizadas, principalmente afetando as zonas de fragilidade, como juntas e fraturas (CHORLEY *et al.* 1984). Características estruturais, tais como falhas, foliação, fraturas, textura, planos de acamamento, laminação e inclinação das camadas podem acelerar o intemperismo químico, provocando o aumento do grau de alteração da rocha (VIEIRA,2007; KOZCIAK, 2005).

Desta forma, pode-se dizer que em área de encostas, quanto mais alterado o material, maior é o potencial de ocorrência de deslizamentos.

As variáveis geomorfológicas condicionam a forma da vertente, a declividade, a dissecação, e a amplitude do relevo. O transporte de sedimentos será tanto mais intenso quanto maior for a declividade da vertente e sua amplitude. Fatores como orientação da vertente, insolação e ventos predominantes também tem papel relevante nas análises, pois são fatores que interferem na umidade do solo.

A dissecação do relevo é condicionada pela densidade de drenagem, expressa pela Equação 2:

$$\text{Equação 2 - } Dd = \Sigma L/A$$

onde  $Dd$  é a densidade de drenagem,  $\Sigma L$  é a somatória dos comprimentos dos canais e  $A$  é a Área drenada. Nesta equação é possível incluir em  $\Sigma L$  tanto canais perenes quanto ravinamentos. De fato, em regiões com elevada precipitação pode existir um aumento no número de canais de primeira ordem. Logo, áreas com alta densidade de drenagem podem indicar intenso processo de movimentos gravitacionais, pois o adensamento da drenagem está fortemente relacionado com estes processos (CHORLEY *et al.* 1984).

Declividade é a medida de inclinação do relevo em relação ao plano do horizonte. A declividade é uma variável de extrema importância nos processos Geomorfológicos, determinando a erosividade de canais devido ao alto gradiente de energia. Desta forma, a capacidade de transporte de massas líquida e sólida é diretamente proporcional a ela. De forma geral, há relação direta entre regiões fortemente dissecadas e alta declividade, sendo essas áreas favoráveis a riscos de movimentos gravitacionais (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Outra variável importante do relevo é a orientação (aspect) que determina a diferença e quantidade de exposição à pluviosidade, insolação e ventos, o que causa alterações na umidade retida na vertente e, portanto, na umidade do solo (CHORLEY *et al.* 1984)

Outro importante elemento condicionante aos movimentos gravitacionais são os solos. Dependendo de sua textura, estrutura, permeabilidade, porosidade e densidade podem ocorrer aceleração dos processos erosivos, que direta ou indiretamente alteram o equilíbrio da encosta, tornando áreas mais susceptíveis à instalação de movimentos gravitacionais (FIORI, 1995).

O arranjo das partículas e seu agrupamento determina a estrutura do solo e assim a sua capacidade de infiltração. Nos solos com estrutura granular há grande quantidade de poros e com isso alta permeabilidade, o que favorece a infiltração. Desta forma, com alta capacidade de infiltração, o escoamento superficial é reduzido, diminuindo assim a erosão. Já em solos com estruturas laminar, por exemplo, há um favorecimento do escoamento superficial devido à dificuldade de



infiltração, e que pode levar a perda de horizontes do solo e assim contribuir para a aceleração de processos erosivos (LEPSCH, 2002).

A proporção relativa entre areia, silte e argila determina a textura do solo. Este atributo é extremamente importante, pois ele possui a capacidade de influenciar propriedades físicas do solo como infiltração, drenagem e retenção de água. Solos arenosos são bem drenados e de elevada suscetibilidade à erosão. Por outro lado, os solos argilosos têm boa capacidade de retenção de água e baixa capacidade de infiltração. No entanto, a textura pode variar ao longo do perfil, e em alguns solos pode ocorrer a perda de argila do horizonte A para o horizonte B, o que pode criar uma camada impermeabilizada capaz de provocar a instabilidade da encosta. (LEPSCH, 2002)

O papel da vegetação no balanço hidrogeomorfológico das encostas é bastante complexo. Na literatura é possível encontrar argumentações sobre os efeitos positivos e negativos da cobertura vegetal. É consenso entre os autores que a preservação da vegetação ajuda a manutenção e a estabilidade das encostas, porém, não raro, há eventos extremos que desencadeiam movimentos gravitacionais onde a cobertura vegetal é bem preservada (KOZCIAK, 2005; KOBIYAMA *et al.* 2012)

A ação positiva da cobertura vegetal é determinada pela proteção dos horizontes superficiais do solo. Iniciada no dossel com a redução da energia que chega ao solo durante as chuvas, chegando até a subsuperfície com a ação mecânica das raízes contribuindo para a agregação do solo, e passando pelo acúmulo de parte da precipitação no edifício vegetal e na serrapilheira impedindo assim o escoamento hortoniano, além de outros fatores (KOZCIAK, 2005; KOBIYAMA *et al.* 2012; FIORI, 1995, entre outros).

Já os aspectos negativos da cobertura vegetal sobre a estabilidade da encosta vão desde o efeito alavanca provocado pela ação dos ventos, até o favorecimento à pedogênese o que aumenta a espessura do solo tornando a área sujeita aos movimentos gravitacionais, e ainda, a pressão exercida pela sobrecarga vertical incitado pelo peso da vegetação. Outro fator negativo da vegetação é o aumento da rugosidade promovido pela ação das raízes e dos trocos o que eleva a capacidade de infiltração da água, o que altera as condições de poro-pressão do solo (FIORI, 1995; KOZCIAK, 2005; KOBIYAMA *et al.* 2012).

A partir de estudos no litoral paranaense FIORI e BORCHARDT, 1997 afirmam que a cobertura vegetal atua positivamente nos índices de segurança em encostas pouco declivosas, diminuindo sua atuação positiva gradativamente com o aumento da declividade. A cobertura vegetal tem o papel de estabilizar a encosta, pois ela exerce a proteção mecânica das gotas de chuva que são interceptadas pelo dossel, além de atuar na agregação do material depositado através de certos tipos de sistemas radiculares (FIORI, 1995; KOZCIAK, 2005).

Já Kobiyama *et al.* (2012) afirmam que a cobertura vegetal interfere na magnitude e na frequência dos movimentos gravitacionais. Ou seja, em área com cobertura vegetal densa os movimentos terão baixa frequência, porém com grande magnitude. Na outra mão, as áreas sem cobertura vegetal terão alta frequência de movimentos com baixas magnitudes.

O intemperismo é um fenômeno que modifica as características físicas e químicas das rochas que estão sofrendo a ação dos diversos agentes intempéricos, tendo como produtos o regolito e o solo (materiais sujeitos a ação de processos erosivos e transporte). As características climáticas de cada região vão determinar o tipo e a intensidade do intemperismo. Desta forma, o clima tem papel importante na formação de espessos pacotes de materiais a serem transportados ao longo das encostas.

Nas regiões subtropicais o clima terá substancial relevância no comportamento da precipitação e suas consequências nos processos morfogenéticos. O acúmulo de precipitação provoca o encharcamento do solo o que favorece os movimentos de massa. A intensidade das chuvas relaciona-se com a energia cinética desta, que por consequência causa maior erosividade da encosta. A interação destes fatores diminui a coesão do material depositado nas vertentes, favorecendo assim os deslizamentos.

Contudo, dentre os elementos do clima, a precipitação ganha destaque nos estudos de movimentos gravitacionais, assim, optamos por analisá-la em um subitem específico. De fato, alguns autores a apontam não como um fator condicionante, e sim como deflagrador dos deslizamentos.

A paisagem evolui naturalmente ao longo do tempo, sem que o homem participe integralmente deste processo. Entretanto, o manejo inadequado de encosta e adjacências pode alterar o ritmo dessas mudanças.

A intervenção do homem sobre a cobertura vegetal, seja em ambientes urbanos ou rurais, constitui um sério agravante a instabilidade de vertentes. Em encostas sem cobertura vegetal o processo de escoamento superficial pode ser concentrado em ravinas acelerando a energia do transporte de sedimentos. No Brasil esse efeito é acelerado pela falta de ordenamento dos centros urbanos e pelas práticas agrícolas predatórias aos recursos naturais.

### 5.3 PRECIPITAÇÃO E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS

Vários autores vêm investigando a correlação entre chuvas e movimentos gravitacionais em busca de um índice de precipitação crítico, a partir do qual, seja possível determinar com certo grau de precisão, os locais em que há risco da encosta se tornar instável. Tatizana *et al.* (1987) apresentam alguns valores encontrado, TABELA 9.

TABELA 9: Propostas de precipitação crítica segundo diversos autores em diferentes localidades.

<b>REFERENCIA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>PRECIPITAÇÃO CRÍTICA</b>
Endo, 1970	Japão	200mm/dia
Cambel, 1975	EUA	262mm/evento
Lumb, 1975	Hong Kong	100mm/dia com precipitação Acumulada de 15 dias de 200mm
Nielsen <i>et al.</i> 1976	EUA	180mm/evento
Govi, 1976	Italia	100/ 3 dias
Guidicinielwasa, 1976	Brasil	12% a 18% da pluviosidade anual
Eyles, 1979	Nova Zelândia	50-90 mm/evento
Brand <i>et al.</i> 1984	Hong Kong	70mm/hora

Baseado em Tatizana *et al.* (1987)

De fato, a precipitação, em ambientes úmidos sem atividades sísmicas, é a principal agente deflagradora de movimentos de massa. A intensidade, a duração e a frequência são alguns dos parâmetros analisados na distribuição temporo-espacial das rupturas em encostas nas zonas tropical e subtropical. São comuns as associações destes parâmetros pluviométricos locais aos eventos de movimentos gravitacionais em busca de situar o ponto crítico de instabilidade da encosta. Estudos de correlação entre precipitação e movimentos gravitacionais e os parâmetros envolvidos são encontrados em vários grupos de estudo (KEEFER *et al.* 1987; BRUGGER *et al.* 1997; GUIDICINI e NIEBLE, 1984; LUMB, 1975; BRAND *et al.* 1984; TATIZANA *et al.* 1987, AU, 1998; DAI e LEE 2001; entre outros).

Não há divergência quanto à importância da precipitação, o mesmo não é verdadeiro para o volume, a intensidade e a duração do evento capaz de desestabilizar a encosta. Muitos concluíram que tanto as chuvas fortes e intensas quanto àquelas que antecedem os eventos são importante, porém, esse período de antecedência é bastante variado para esses autores, de algumas horas em certos casos, para algumas semanas em outros (DAI e LEE, 2001), destacando-se que a necessidade de chuvas antecedentes diminui para algumas horas em regiões tropicais (BRAND *et al.* 1984).

Dois autores chegaram a conclusões discordantes em um ponto fundamental para a relação entre precipitação e deslizamentos. De acordo com Lumb (1975) que analisou os deslizamentos e as ocorrências de chuvas em uma associação entre as últimas 24 horas e os registros de precipitação nos quinze dias antecedentes aos eventos, a maior parte dos deslizamentos ocorre quando há mais de 100 mm de precipitação em menos de 24 h e pelo menos 200 mm dos últimos 15 dias. Desta forma, para Lumb (1975) a alta intensidade de precipitação é mais determinante a deslizamentos quando os 15 dias antecedentes aos eventos apresentam altos índices de precipitação, provocando o aumento da umidade do solo. De fato, um evento de grande intensidade de precipitação seria o gatilho para os deslizamentos e a precipitação antecedente o principal fator.

A partir de análises de inventários e dados de precipitação do período de 1950-1973 Lumb (1975) pode criar uma classificação para os eventos correlacionando a precipitação diária e o acumulado dos 15 dias anterior. De acordo

com esta classificação os eventos poderiam ser classificados em: evento com pequenas ocorrências, eventos severos e evento catastrófico, conforme FIGURA 20.

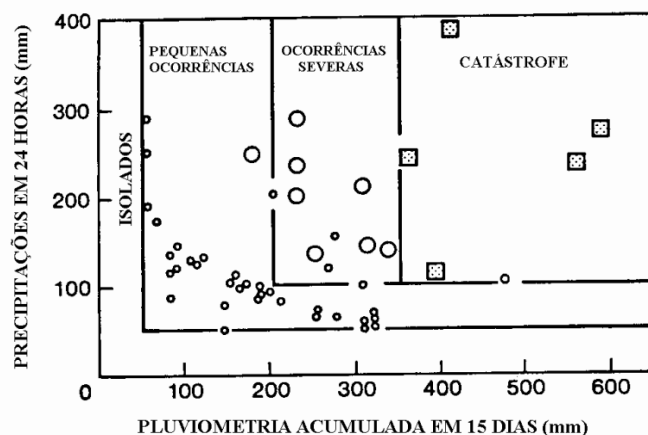


FIGURA 20: Relação entre chuva e Escorregamento em Hong Kong.  
Fonte: Lumb (1975)

Aprofundando as correlações de Lumb (1975), Brand *et al.* (1984) utilizando dados pluviométricas em Hong Kong concluíram que a precipitação localizada com intensa concentração é o principal fator de desencadeamento de grandes eventos de movimentos de massa. Sendo o acúmulo de precipitação de vários dias responsável apenas por pequenos eventos pontuais. Os autores constataram que uma chuva de 70 mm em uma hora é o liminar dos grandes eventos de movimentos gravitacionais, e que em uma precipitação de menos de 100 mm em 24h seria muito pouco provável a ocorrência de grandes deslizamentos, FIGURA 21.

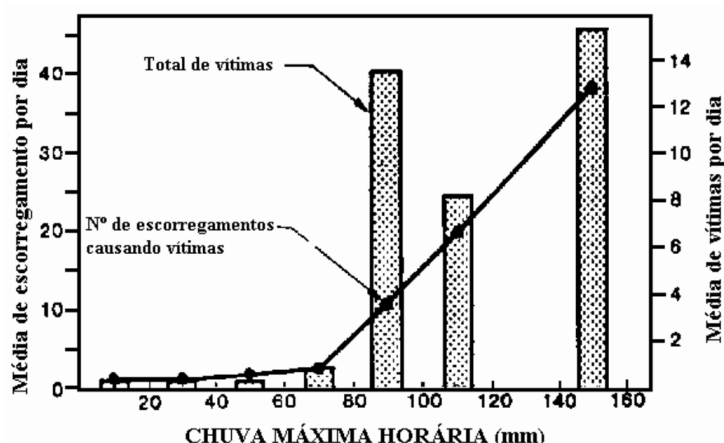


FIGURA 21: Correlação entre Chuva Máxima horária e deslizamentos em Hong Kong.  
Fonte: (Brand, 1985).



Uma solução possível para esse impasse é apresentada em vários trabalhos (DAI e LEE, 2001; AU, 1998; KAY e CHEN, 1995, FINLAY *et al.* 1997). Segundo esses autores a melhor relação entre a precipitação e os deslizamentos está numa associação dos eventos com as intensidades das chuvas horárias de 3 horas a 72 horas antes das catástrofes. Em alguns casos uma precipitação horária de 50mm precedida de grandes volumes nas últimas 72 horas podem deflagrar deslizamentos causadores de grandes perdas humanas e materiais.

No Brasil, Guidicini e Iwasa (1976) *apud* Guidicini e Nieble (1984) tendo como área de estudo a Serra do Mar no estado de São Paulo, determinaram índices críticos e elaboraram cartas de periculosidade a escorregamentos a partir de um coeficiente do ciclo, razão entre o registro pluviométrico acumulado até a data do episódio e a média anual de pluviosidade, e de um coeficiente do episódio, razão entre o registro pluviométrico do episódio e a média anual de pluviosidade. A partir da soma dos coeficientes eles determinaram faixas de risco para caracterizar as zonas de concentração de episódios, conforme FIGURA 22.

Outro trabalho clássico sobre a correlação entre precipitação e os movimentos gravitacionais é apresentado por Tatizana *et al.* (1987) onde os autores determinam envoltórias de eventos com parâmetros geotécnicos para a Serra do Mar na região de Cubatão-SP. Ainda, foi determinado coeficiente de precipitação crítica para medir a suscetibilidade de escorregamentos de acordo com a evolução da precipitação.

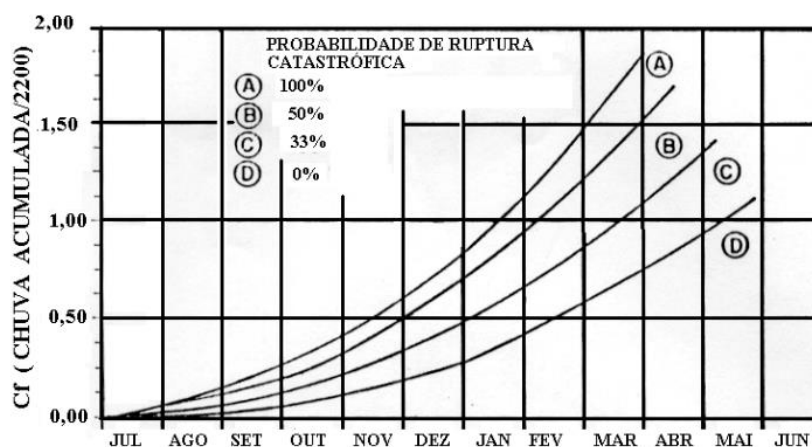


FIGURA 22: Representação do Coeficiente Final proposto por Guidicini e Iwasa (1976)

Tatizana *et al.* (1987) concluíram que a análise de totais pluviométricos diários não é adequada a compreensão dos fenômenos investigados durante os movimentos gravitacionais para a Serra do Mar na região de Cubatão. Para eles é a saturação prévia do solo que determina a instabilidade das encostas, sendo necessária a correlação entre a precipitação acumulada de 4 dias e os totais horários. Como resultado prático, os autores propuseram o coeficiente de precipitação crítica para determinar a susceptibilidade da encosta de acordo com a precipitação.

A principal contribuição da precipitação a instabilidade das encostas é dada pelo aumento da umidade do terreno, o que pode aumentar a poro-pressão acima do limite crítico de estabilidade da encosta, provocando os deslizamentos. Diversos trabalhos têm tentado formular e quantificar essa relação entre precipitação e movimentos de massa (DAI e LEE, 2001).

As chuvas antecedentes aumentam as chances de ocorrer deslizamentos, pois elas alteram as condições físicas de estabilidade da encosta. Logo, a intensidade de precipitação necessária para desencadear um deslizamento pode ser sensivelmente menor quando existam chuvas antecedentes. No entanto, conforme Brand *et al.* (1984) essa influência pode ser minimizada em algumas situações. A intensa precipitação pode gerar grande fluxo superficial, que por sua vez supera a influência da precipitação acumulada. Com isso, as precipitações de alta intensidade e curta duração diminuem o controle das chuvas antecedentes (AU, 1998).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir das seguintes etapas: (i) consulta e revisão bibliográfica; (ii) levantamento, análise e elaboração de base cartográfica; (iii) trabalhos de campo e gabinete para criação do inventário de deslizamentos; (iv) confecção de mapas para análise e interpretação dos resultados com base na revisão bibliográfica; e (v) discussão dos resultados e redação da dissertação.

O levantamento bibliográfico consistiu em analisar a bibliografia sobre a temática e a área de estudos a fim de elaborar um referencial teórico-metodológico que possibilite a compreensão dos processos que atuam sobre a evolução do modelado nas encostas da Serra do Mar provocando os processos erosivos ora apresentados. A partir da bibliografia buscou-se conhecer técnicas e procedimentos que viabilizem as análises e as representações dos resultados alcançados e análise espacial.

Assim, para organizar o andamento e o desenvolvimento do projeto foi criado um fluxograma (FIGURA 23), a partir do qual se estabeleceu os procedimentos a serem realizados.

De forma objetiva, o fluxograma agrupa as informações levantadas pela pesquisa bibliográfica e cartográfica em dois grupos iniciais (Base Cartográfica e Base Bibliográfica). Com a base bibliográfica foi possível investigar as relações entre os deslizamentos e os fatores condicionantes, o modelo a ser usado para a elaboração do mapa de perigo e a ação da precipitação sobre os deslizamentos. Na outra ponta, a base cartográfica possibilitou a confecção de mapas temáticos, modelos digitais do terreno e do inventário de cicatrizes, além dos mapas de perigo para as condicionantes investigadas. De posse de todas essas informações foi possível realizar as análises e posterior criação dos cenários de perigo a deslizamentos. Em seguida, foi possível validar os modelos com o inventário de cicatrizes, tendo como resultado o modelo mais adequado para a área de estudo.

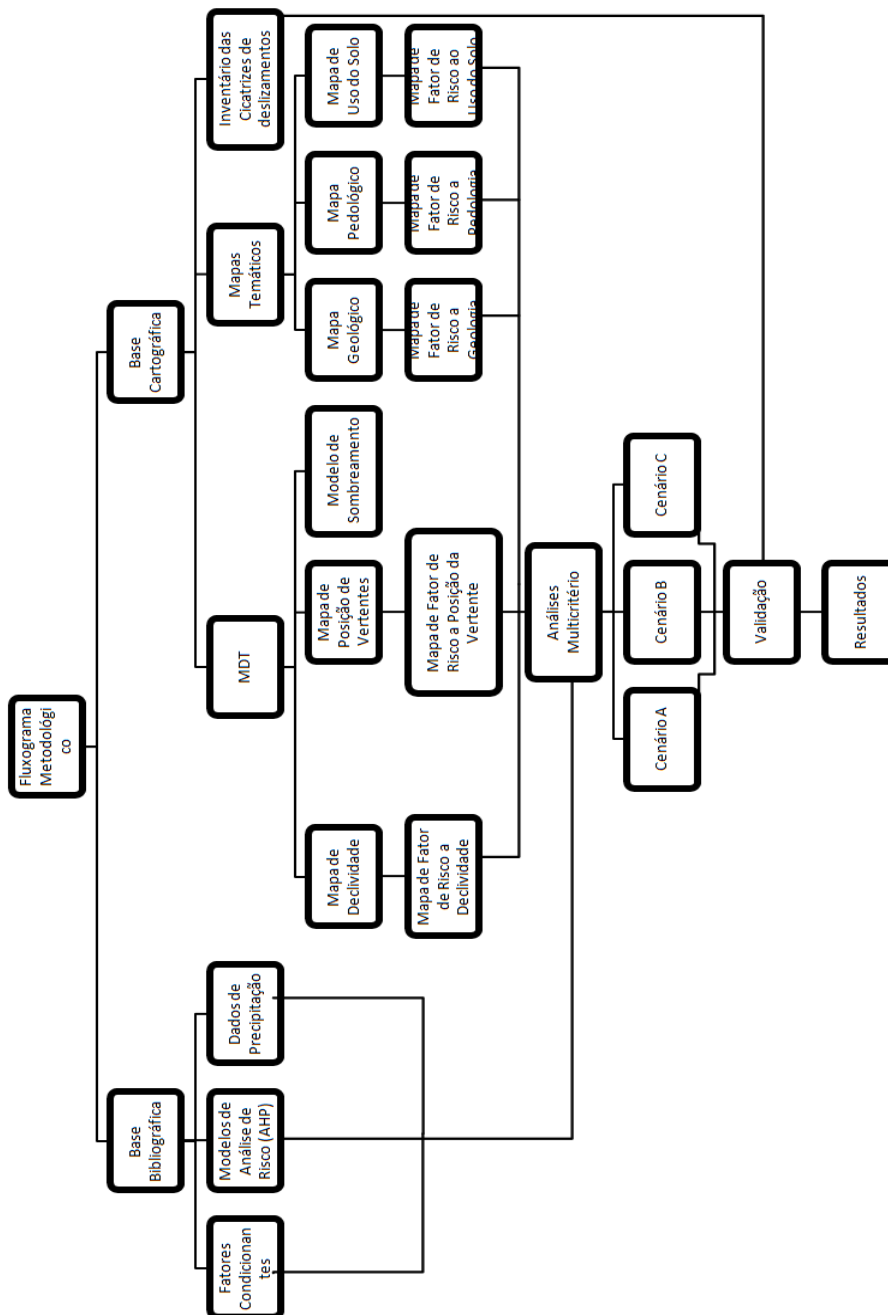


FIGURA 23: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

## 6.1 DEFINIÇÃO DA ESCALA ESPACIAL E ESCALA TEMPORAL

A definição da área de estudo obedeceu a critérios práticos de acordo com o conhecimento prévio da área e a disponibilidade de base cartográfica e bibliográfica. Optou-se pela escolha de áreas de encostas na Serra do Mar nas bacias hidrográficas dos rios Cubatão do Norte, Pirai e Pirabeiraba.

Para a definição da escala temporal levantou-se a disponibilidade de aerofotos e ortofotos e a ocorrência de eventos chuvosos que tenham provocado alteração na área de estudo. Silveira *et al.* (2009) apresenta uma lista de eventos que causaram enchentes na cidade de Joinville. Com a lista de enchentes e as aerofotos constatou-se que no início de 1995 houve um grande evento pluviométrico e que em 1996 ocorreu o levantamento aerofotogramétrico da 1ª Divisão de Levantamentos. Desta forma, definiu-se que o período de análise seria compreendido entre os anos de 1995 até 2011.

Assim, a pesquisa pode contar com cerca de duas centenas de cicatrizes mapeadas e pelo menos quatro eventos de grande precipitação pluviométrica (fevereiro de 1995; novembro de 2008, março de 2010 e março de 2011).

## 6.2 LEVANTAMENTO DA BASE CARTOGRÁFICA E DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A base cartográfica utilizada para elaboração dos mapas está na forma digital em diferentes escalas e sistemas de projeção. A fim de uniformizar e facilitar as análises todos os arquivos foram convertidos em *classes de feições (feature class)* dentro de um Banco de Dados Geográfico (*geodatabase*) configurado com a



Projeção Transversa de Mercator (UTM) e datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas). Este banco de dados contém:

- Base cartográfica da zona rural de Joinville, escalas 1:1.000 ; 1:5.000; e 1:10000 (PMJ, 2010);
- Ortofotos da zona rural de Joinville, escalas 1:1.000 ; 1:5.000; e 1:10.000 (PMJ, 2010);
- Cartas topográficas na escala 1:50.000 (IBGE/EPAGRI, 1983), folhas Joinville (SG-22-Z-B-II-3), São Francisco (SG-22-Z-B-II-2), Garuva (SG-22-Z-B-II-1), Jaraguá do Sul (SG-22-Z-B-I-4) e Araquari (SG-22-Z-B-II-4). Barra Velha (SG-22-Z-B-V-2) e Pomerode (SG-22-Z-B-IV-2);
- Carta topográfico na escala 1:50.000, do Serviço Geográfico do Exército: folha São Miguel (SG-22-Z-B-I-2);
- Imagens orbitais Landsat dos sensores ETM7 e Tm5 de diversas datas;
- Imagens orbitais CBERS2 e 2B dos sensores CCD e IRM de diversas datas;
- Levantamento de Solos na escala 1:100.000 (DIGEO/SUL-IBGE, 2002);
- Mapa Geológico na escala 1:100.000 (DIGEO/SUL-IBGE, 2001);
- Mapa Geológico da Região Nordeste de Santa Catarina na escala 1:50.000 (GONÇALVES *et al.* 2002);
- Mapa Geomorfológico do complexo Hídrico da Baía da Babitonga na escala 1:100.000 (FATMA, 2002);
- Mapa Fitoecológico na escala 1:100.000 (DIGEO/SUL-IBGE, 2002); e
- Zoneamento Agroclimático do estado de Santa Catarina na escala 1:1.000.000 (IDE *et al.* 1980);
- Levantamento Pedológico e Aptidão Agrícola da PMJ na escala 1:10.000 (PMJ, 2011).

Os dados pluviométricos foram obtidos junto à base de dados da Agência Nacional de Águas disponível na rede mundial de computadores (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Inicialmente analisou-se a distribuição espacial das estações para a definição da seleção daquelas que teriam influência direta na área de estudos. Desta forma, inicialmente analisou-se a distribuição espacial de 25

estações espalhadas pelo nordeste de Santa Catarina, Litoral e Região Metropolitana de Curitiba no Paraná.

Os critérios de seleção para as estações pluviométricas foram: (1) existência de dados no período 1995-2011; (2) proximidade com as áreas de estudo; e (3) confiabilidade dos dados. Por fim, apresentamos as estações selecionadas (TABELA 10).

TABELA 10: Estações pluviométricas utilizadas nas análises dos dados de precipitação.

<b><i>Estação</i></b>	<b><i>Código ANA</i></b>	<b><i>Coord. X(UTM)</i></b>	<b><i>Coord. Y(UTM)</i></b>	<b><i>Altitude(m)</i></b>
<b>Pirabeiraba</b>	2648033	705928	7102737	40
<b>Primeiro Salto Cubatão</b>	2649060	691763	7098984	790
<b>Garuva</b>	2648027	715134	7118596	80
<b>Estrada dos Morros</b>	2648034	702005	7095165	130

Os dados obtidos das estações foram compilados em tabelas Excel para a identificação de valores de precipitação diária, acumuladas de 3 e 7 dias. Outros valores estatísticos também foram obtidos como média mensal e anual, máximas diária e mensal para cada mês, entre outros indicativos.

### 6.3 CONFECÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICATRIZES E DE MAPAS DE PERIGO

Para a fotointerpretação com objetivo de identificar as cicatrizes de escorregamento nas encostas da área de estudo foram utilizadas fotos aéreas e ortofotos de diferentes escalas e datas. A base cartográfica está disponível em três escalas de detalhamento, conforme FIGURA 24. Para auxiliar o mapeamento dessas feições foi utilizado também o *Google Earth®* para a identificação de cicatrizes ocorridas depois de 2010, e para a identificação da data de possíveis eventos.

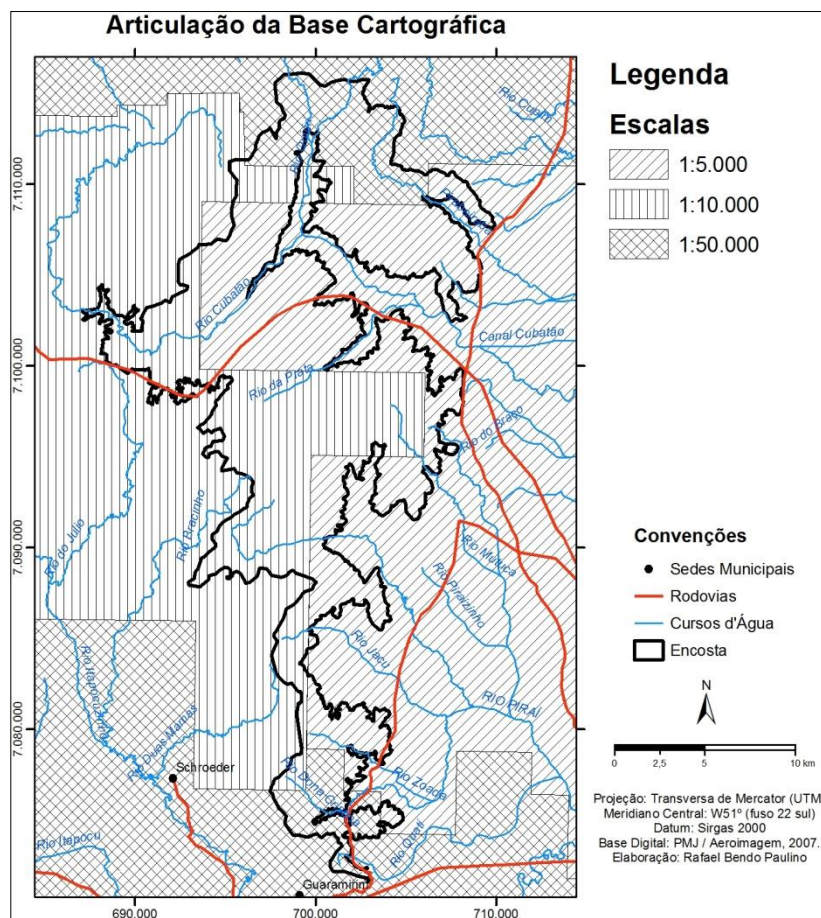


FIGURA 24: Mapa da articulação da base cartográfica.

As ortofotos de 2010 disponibilizadas pela PMJ em meio digital já são georreferenciadas pela empresa que executou o levantamento. Para as fotos aéreas de 1996, na escala 1:60.000 foi realizado o registro das imagens por meio de reconhecimento de pontos de controle, sendo identificado o maior número possível de pontos em cada foto, no mínimo 10, afim de melhor ajustar a foto a base cartográfica (TABELA 11).

TABELA 11: Fotos áreas e ortofotos utilizadas no levantamento de cicatrizes de deslizamentos.

<b>Escala de voo</b>	<b>Ano</b>	<b>Fonte</b>	<b>Meio</b>
1:60.000	1996	1ª DL ( Divisão de Levantamento )	Digital
1:10.000	2010	Aeroimagem/PMJ	Digital
1:5.000	2010	Aeroimagem/PMJ	Digital

O mapeamento das cicatrizes foi realizado no software ArcGis® 10 identificando as feições características de movimentos gravitacionais possíveis de

serem mapeadas nessas escalas. Toda a cicatriz foi mapeada, do ponto de ruptura até o material depositado nas adjacências da cicatriz, conforme FIGURA 25. Cada cicatriz recebeu um código, a data provável do evento, suas coordenadas centrais e também foi calculada a área em metros quadrados, conforme TABELA 12.

TABELA 12: Exemplo de cadastro do inventário das cicatrizes.

<i>Código</i>	<i>Data</i>	<i>X(utm)</i>	<i>Y(utm)</i>	<i>Área</i>



FIGURA 25: Exemplo do mapeamento para o cadastro do inventário das cicatrizes.

Imagens orbitais de diversos momentos foram analisadas para possíveis identificações de cicatrizes. No entanto, principalmente devido à baixa resolução espacial, elas mostraram-se ineficazes para o mapeamento dos escorregamentos. Porém, utilizando técnicas de fusão de imagens, foi possível melhorar a resolução espacial das mesmas para que se possa identificar a data de ocorrência do deslizamento. A partir de um banco de imagem com pelo menos uma cena de cada ano foi possível inferir a possível época do deslizamento, facilitando assim a correlação com o evento pluviométrico que desencadeou o deslizamento.

Para a construção do modelo digital do terreno (MDT) foi usada à base topográfica digital disponível, utilizando o método TIN (*Triangulated Irregular Network*). Em seguida o TIN foi convertido para o formato *raster*, pois este modelo suporta melhor as análises espaciais e os cálculos de álgebra de mapas. Com o

raster foram gerados os produtos derivados do MDT: hipsometria, clinografia, modelos de sombreamento e orientação da vertente. Todos os planos de informações foram convertidos para o formato *raster*, inclusive aqueles que originalmente se encontravam em formato vetorial. Com isso foi possível à criação de modelos de susceptibilidade para os seguintes planos de informação: declividade, posição da vertente, pedologia, geologia e uso do solo. Todos esses planos de informações foram reclassificados usando o critério de pesos específicos para cada classe, de acordo com recomendações discutidas na literatura e ensaios estatísticos que serão apresentados nos resultados.

As matrizes de reclassificação de cada plano de informação serão apresentadas no capítulo de Discussão dos Resultados, juntamente com os mapas, para facilitar a compreensão.

Após o mapeamento e a identificação da data dos deslizamentos foi o momento de organizar os dados pluviométricos, para estabelecer uma compreensão geral das características da precipitação da área de estudo, bem como identificar os volumes diários e acumulados para os eventos que podem estar associados aos deslizamentos, conforme propostas encontradas na literatura.

Com os mapas de condicionantes foi possível gerar modelos de perigo a movimentos gravitacionais com o apoio de análise multicritério pelo método AHP (*Analythic Hierarchy Process*). Três cenários foram propostos e confrontados com o inventário de cicatrizes para validação. Os resultados foram lançados em tabelas Excel para análise qualitativa dos modelos e escolha do mais adequado para a área de estudo.

#### 6.4 O MÉTODO AHP - ANALYTHIC HIERARCHY PROCESS

O método do processo analítico hierárquico (AHP) foi desenvolvido e apresentado por Saaty (1977), e consiste na ponderação de critérios através de uma matriz de preferências onde todos os fatores são pareados e comparados. O autor

apresenta uma tabela com valores de intensidade de importância onde os fatores são julgados pelo tomador de decisão, de acordo com a preferência ou importância, um contra o outro (TABELA 13).

TABELA 13: Escala de intensidade de importância e pesos proposta por Saaty 1990.

<i>Intensidade de importância</i>	<i>Definição</i>
1	Mesma importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande de uma sobre a outra
7	Importância muito forte
9	Importância absoluta
2,4,6,8	Valores intermediários
Recíprocos dos valores acima de zero	Valores de comparação inversa

Como exemplo é dado uma matriz de ordem 3 com três critérios hipotéticos (TABELA 14), onde o critério C1 tem importância pequena sobre C2 (valor de intensidade importância 3) e importância grande sobre C3 (valor de intensidade de importância 5), e onde C3 tem valor de intensidade de importância 2 sobre C2, representando o valor intermediário entre *mesma importância* e *importância pequena*. Automaticamente, os valores recíprocos recebem um peso  $1/x$  de acordo com o julgamento atribuído para o outro critério.

TABELA 14: Modelo de Matriz de Preferência proposto por Saaty1990.

<i>Critérios</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
C1	1	3	5
C2	0.33	1	0.5
C3	0.2	2	1

A desatenção ou mesmo o desconhecimento do universo real por parte do operador pode provocar inconsistências no processo. Por isso, Saaty (1990) propõem o índice de Resultado de Consistência (RC), dado pelas seguintes equações:

$$\text{Equação 3 - } RC = CI/RI$$

$$\text{Equação 4 - } CI = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$$



onde RI é um índice tabelado em função de  $n$  (número de critérios) conforme demonstra a TABELA 15 e  $\lambda_{\max}$  é o maior valor atribuído a um critério da matriz de preferências.

TABELA 15: Valores para RI, Saaty 1990.

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.52	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Desta forma, segundo os criadores do método, se RC for inferior a 0,1, o grau de consistência é satisfatório. Se RC foi superior a 0,1, podem existir sérios problemas de inconsistência e o método AHP deverá ser revisto ou não poderá ser utilizado (SAATY, 1990).

Desde que foi proposto o método AHP tem sido uma ferramenta importante nas mãos de tomadores de decisão e de pesquisadores, e sua aplicação tem se destacado na análise multicritérios para planejamento, seleção de melhor alternativa, alocação de recursos, resolução de conflitos, previsão, entre outros, no campo político, econômico, social ou ambiental.

Segundo Saaty (1990) o processo de tomada de decisão implica no enfrentamento de um complexo sistema de componentes correlacionados como recursos, resultados ou objetivos desejados, pessoas ou grupos de pessoas. Quanto melhor o entendimento dessa complexidade, melhor será a previsão da tomada de decisão.

Segundo Saaty (1990):

"parece quase óbvio que não podemos resolver os maiores problemas políticos, organizacionais e naturais, simplesmente processando um conjunto de dados ou de informações através de um modelo matemático ou de um computador. O que é preciso, adicionalmente, é um projeto que tenha uma deliberação e julgamento mais apurados. Uma vez que possamos entender o processo de deliberação e julgamento, poderemos convergir para um método mais objetivo e melhor, isto é, um modo de expressar uma deliberação ótima de uma forma precisa e garantida".

Vaidya e Kumar (2006) precederam uma busca na literatura sobre o AHP a fim de listar as principais aplicações deste método. Cerca de 150 trabalhos são listados, sendo que 27 foram analisados criticamente, na esperança de contribuir com uma síntese do que havia sido produzido até o presente momento, servindo desta forma de base conceitual para trabalhos futuros. Contudo, os autores não expressão um juízo de valor sobre o método, limitando a citar as suas aplicações.

No entanto, autores como Chwolka e Raith (2000), Schmidt (2003), Ishizaka (2004) e Steiguer *et al.* (2005) apresentam suas análises quanto ao método propriamente dito. E, a partir deles é possível listar aspectos positivos e negativos da aplicação do AHP. De forma que, a simplicidade, clareza, facilidade de uso, possibilidade de manusear com julgamentos inconsistentes, capacidade de medir o grau de inconsistência, comparação par a par, e a sintetizarão dos resultados dentro de uma lista ordenada que permita a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator, bem como a ampla produção bibliográfica a respeito do método são apontados com os aspectos positivos. Por outro lado, a subjetividade na formulação da matriz de preferência, ausência de fundamentos de teoria estatística, e principalmente as limitações em modelar ambientes naturais são listados como aspectos negativos.

Cabe ressaltar que esse método não é infalível, principalmente para o propósito desta dissertação. Como dito anteriormente, os movimentos gravitacionais são o resultado de um complexo sistema de eventos desencadeados nas encostas, e que modelos matemáticos, em geral não são capazes de prever com total exatidão as áreas de perigo. No entanto, o método pode ser válido como exercício de análise quando confrontado com inventários de cicatrizes, como é o caso específico.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 INVENTÁRIO DOS DESLIZAMENTOS

Com o auxílio de fotointerpretação em ambiente SIG e atividades de campo, foi possível a identificação de 199 cicatrizes de deslizamento ocorridas entre janeiro de 1995 a março de 2011, conforme FIGURA 26.

A área de estudo é de 343,7 km<sup>2</sup>. Os deslizamentos correspondem a uma área total de 1.035.910,07 m<sup>2</sup>, ou 1,03 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,3% da área de estudo. A área média das cicatrizes é de 5.205 m<sup>2</sup>, tendo a menor cicatriz 50 m<sup>2</sup> e a maior de 108.625m<sup>2</sup>. Isso evidencia a relevância desses estudos, visto que mais de 1 milhão de metros quadrados foram afetados durante esses eventos, e o volume de material transportado certamente é muito superior a isso, o que pode provocar impactos na agricultura - pela perda de solos, na biodiversidade, e no regime hidrológico.

Além da identificação das cicatrizes nas encostas, determinou-se a área, e a provável data do evento que provocou os deslizamentos. A identificação da data dos eventos foi obtida a partir de imagens orbitais, relatos de moradores, pesquisa bibliográfica e interpretação de ortofotos e aerofotos.

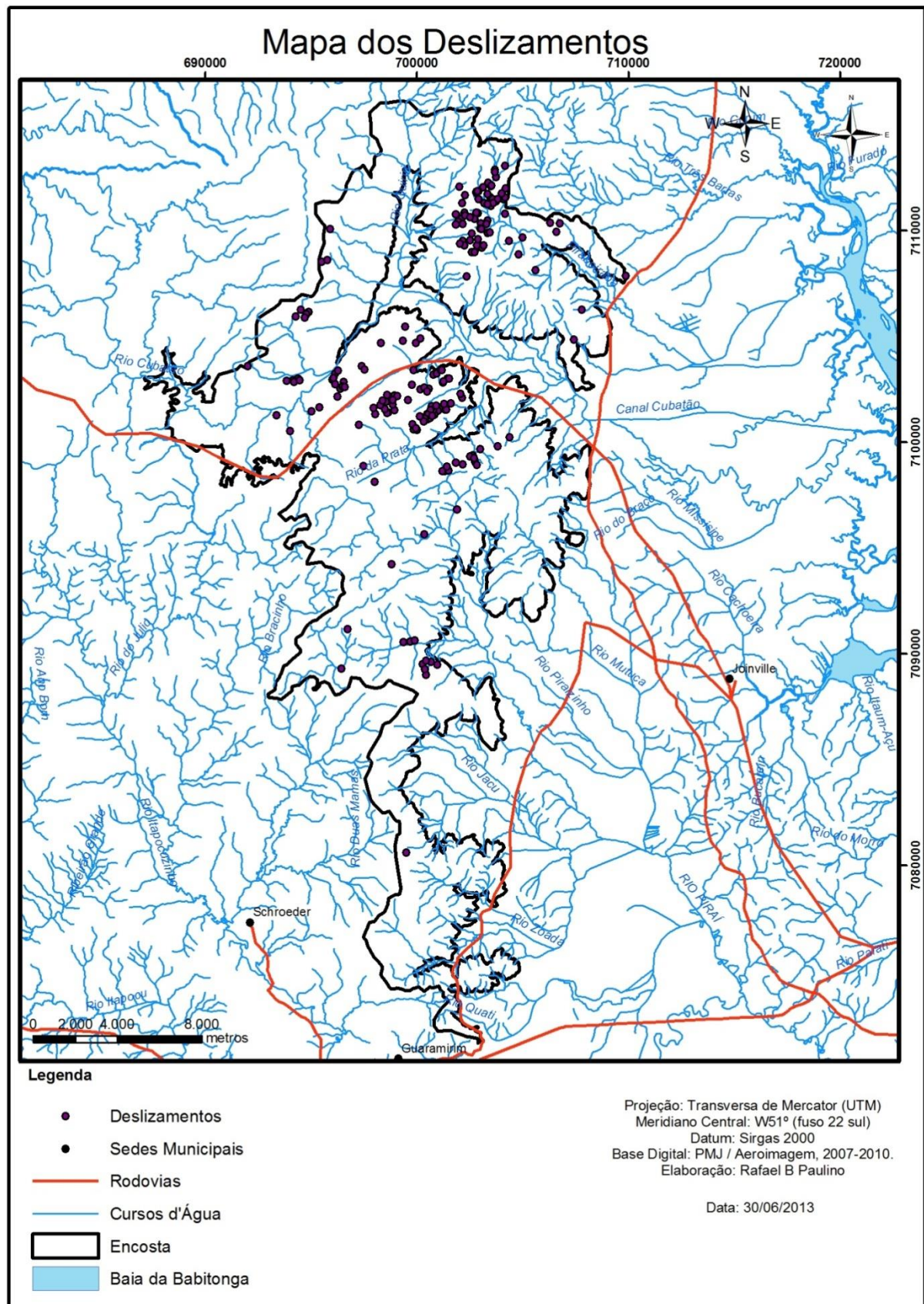


FIGURA 26: Mapa dos Deslizamentos na área de estudo.

A FIGURA 27 apresenta o número de cicatrizes de acordo com classes de área. Assim é possível identificar que há uma concentração nas ocorrências com áreas maiores que 1.000m<sup>2</sup> até 4.000nm<sup>2</sup>, nestas duas classes são encontradas quase a metade das cicatrizes. Porém são as grandes cicatrizes (maiores que 8.000 m<sup>2</sup>) que concentram a maior parte da área deslizada da encosta (62,3%). Este padrão confirma uma tendência nos estudos ambientais onde eventos de alta magnitude são raros enquanto que os de baixa magnitude são frequentes.

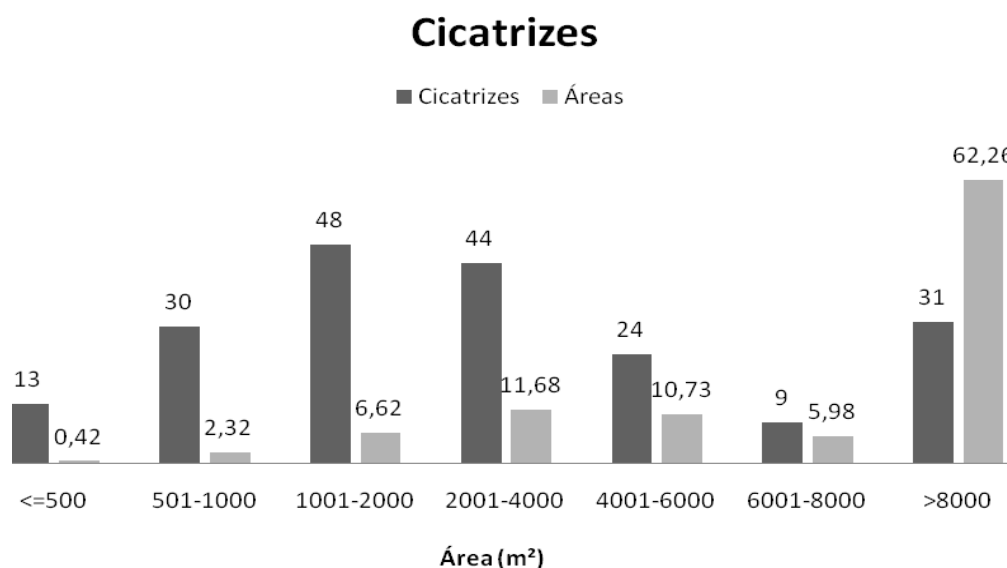


FIGURA 27: Distribuição do número de cicatrizes e do percentual das áreas deslizadas.

A espacialização das cicatrizes (FIGURA 26) permite destacar uma expressiva concentração de ocorrências nas bacias do rio Cubatão e do rio Pirabeiraba. De fato, as análises apresentadas neste trabalho não apresentam subsídios para justificar tal característica. Uma possível explicação deve passar pela dinâmica da circulação atmosférica da região. Sabe-se que as massas de ar dominantes na região são a Massa de ar Tropical Atlântica (mTa) e a Polar Atlântica. No entanto, por vezes, a massa Equatorial continental (mEc) originada na planície Amazônica age sobre a região, trazendo altas temperatura e umidade, o que provoca altos índices pluviométrico sob a forma de chuvas de convecção associadas ao efeito orográfico comum na região.

## 7.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS DESLIZAMENTOS E OS FATORES CONDICIONANTES

Para a produção de modelos de perigo a deslizamento foi necessário determinar a influência de cada classe dos 5 fatores ora investigados. Desta forma, foi produzida uma série de informações quantitativas associando-as as discussões levantadas na literatura.

Para a criação de tais modelos optou-se pela utilização dos seguintes fatores condicionantes: Declividade, Cobertura Pedológica, Geologia, Uso do Solo e Posição da Vertente. A escolha desses fatores é justificada pela disponibilidade e pela qualidade destas informações.

Para a confecção dos mapas de fator de perigo cada condicionante foi classificada de acordo com o perigo e atribuído um peso para suas classes em uma escala de 0 a 9. Para a atribuição dos pesos foi avaliado o grau de perigo de acordo o conhecimento da área e com a literatura.

A seguir, são apresentados os resultados das análises destes fatores.

### 7.2.1 Fator de Perigo para a Condicionante Declividade

As classes do Mapa Clinográfico foram definidas de acordo a metodologia utilizada por Dai e Lee (2003), onde os autores propõem um modelo probabilístico de movimentos gravitacionais induzidos por intenso volume pluviométrico baseado em eventos ocorridos em Hong Kong.

Em seguida, foi gerado o mapa de perigo para o fator declividade e atribuído os pesos de cada classe variando de 0 a 9, sendo 0 o menor perigo e 9 o maior, conforme TABELA 16.



TABELA 16: Pesos atribuídos ao fator de perigo Declividade.

<b>Classes de declividade</b>	<b>Pesos</b>
<5°	0
5,1° - 10°	1
10,1° - 20°	4
20,1° - 30°	6
30,1° - 45°	9
> 45°	7

Fernandes e Amaral (1996) afirmam que a maior concentração de movimentos de massa ocorre em encostas com declividades entre 21° a 25°. Essa informação reforça a complexidade do envolvimento entre os fatores responsáveis pelos movimentos de massa, pois “tal comportamento foi atribuído à variação no tipo de cobertura vegetal e ao fato de que nas encostas mais íngremes os solos já teriam sido removidos por movimentos anteriores”.

Observando a TABELA 17, resultante da intersecção entre as classes de declividade e os deslizamentos fica evidente a concentração de cicatrizes de deslizamento em 2 classes de declividade, 20,7% na classe com declividades variando de 20,1° até 30° e 52,1% na classe com declividades de 30,1° até 45°, juntas essas classes correspondem a 72,8% das áreas deslizada da encosta. Esses dados confirmam a expectativa levantada na bibliografia, onde Fernandes e Amaral (1996) afirmam que a maioria dos escorregamentos ocorre em encostas com classes de declividade próximas a estas. Os autores argumentam que em encostas com mais de 45 graus não há acúmulo significativo de material, por isso é baixa a ocorrência de registros nessas encostas mais íngremes.

TABELA 17: Área das cicatrizes conforme as classes de declividade.

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Área (%)</b>
<5	19.540,37	1,9
5,1 - 10	31.815,88	3,1
10,1 - 20	119.432,24	11,5
20,1 - 30	214.801,06	20,7
30,1 - 45	539.557,05	52,1
> 45	110.763,45	10,7
Total	1.035.910,05	100

Ainda sobre a TABELA 18, podemos deduzir que os 5% de área das cicatrizes das classes com declividade <10 graus correspondem, na grande maioria, por depósitos de material transportado de área mais declivosas. A confirmação destes dados só é possível através de uma análise de campo detalhada de cada cicatriz.

A FIGURA 29 aponta que mesmo sendo boa parte da encosta composta por áreas com declividade até 20°, ocorre um pico de cicatrizes na classe de maior perigo (30,1 - 45).

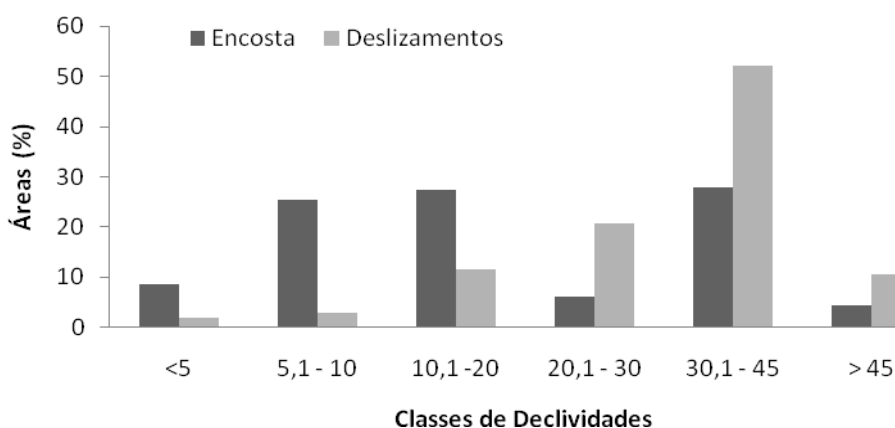


FIGURA 28: Área da encosta e das cicatrizes conforme as classes de declividade.

### 7.2.2 Fator de Perigo para a Condicionante Orientação de Vertentes

A Orientação de vertentes é baseada na posição com relação à exposição da radiação solar. Vertentes expostas para o Norte recebem uma quantidade maior de radiação solar do que as vertentes expostas para o Sul. Desta forma, as vertentes do Sul serão vertentes mais úmidas e por isso potencialmente mais predisposta à ocorrência de deslizamentos. Ainda é possível afirmar que as vertentes voltadas para Leste e Oeste receberão parte da radiação solar.

Foram atribuídos valores para cada orientação de acordo com a exposição à radiação solar e umidade natural associada, variando de 0 a 5 sendo 0 o menor perigo e 5 o maior, conforme TABELA 18.

TABELA 18: Pesos atribuídos ao fator de perigo Orientação de Vertentes.

<b><i>Orientação de Vertente</i></b>	<b><i>Peso</i></b>
Áreas Planas	0
Norte	1
Nordeste	1
Leste	2
Sudeste	4
Sul	5
Sudoeste	4
Oeste	2
Noroeste	1

Os resultados do cruzamento da camada de informação Orientação de Vertentes com as cicatrizes mapeadas são apresentados na a TABELA 19 e FIGURA 29. Neste caso os resultados foram bem distribuídos, tendo uma leve concentração nas direções Norte e Noroeste, com 25,5% e 22,3% respectivamente.

TABELA 19: Área das cicatrizes conforme a Orientação da vertente.

<b><i>Orientação de Vertente</i></b>	<b><i>Área (m<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>Área (%)</i></b>
Áreas Planas	4.031,74	0,4
Norte	264.555,94	25,5
Nordeste	131.386,82	12,7
Leste	101.480,90	9,8
Sudeste	92.277,18	8,9
Sul	55.037,74	5,3
Sudoeste	46.301,38	4,5
Oeste	110.287,78	10,6
Noroeste	230.550,59	22,3
Total	1.035.910,05	100

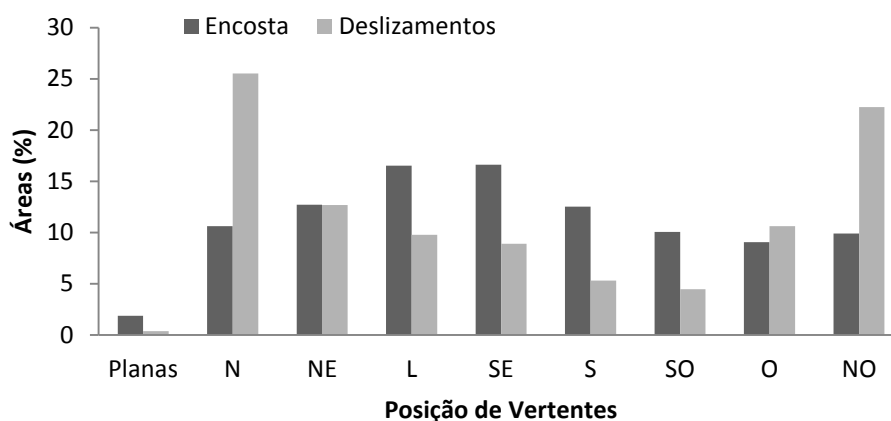


FIGURA 29: Área da encosta e das cicatrizes conforme Orientação de Vertente.

Aqui se percebe uma particularidade, a maioria das áreas deslizadas são encontradas em encostas voltadas para as zonas supostamente mais seguras, ou seja, norte, nordeste e Noroeste. Menos de 1/3 das áreas ocorrem nas zonas mais propensas aos deslizamentos, sul, sudeste e sudoeste. É possível interpretar esses resultados como sendo a resposta do modelo a outros fatores, como declividade, pedologia e circulação local e regional do ar carregado de umidade, mais determinantes do que a Orientação de Vertentes.

Em seguida, a FIGURA 30 mostra o mapa de perigo para a condicionante Orientação de vertente.

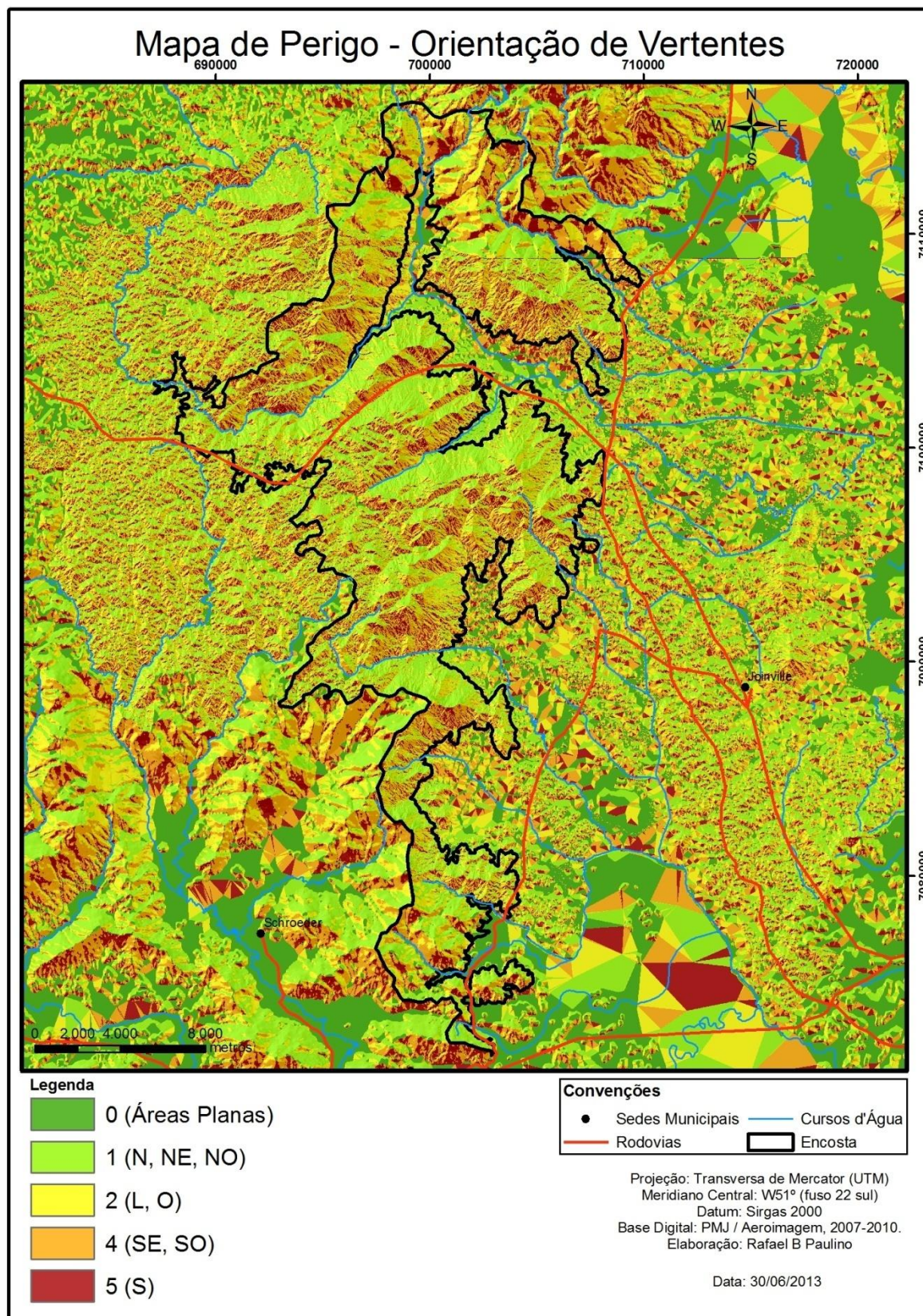


FIGURA 30: Mapa de fator de perigo para a condicionante Orientação de Vertentes da área de estudo.



### 7.2.3 Fator de Perigo para a Condicionante Geologia

As informações sobre a geologia local podem ser complementadas com a identificação de falhas e planos de fratura. Certamente esse é um fator condicionante de grande importância nos movimentos gravitacionais. Diretamente ele age sobre a estrutura e equilíbrio da encosta e indiretamente dando origem a tipos de solos com pré-disposição ou não a escorregamentos.

Geologicamente a área de estudo é formada principalmente por Gnaisses granulítico – Ala – com 77,6% da área, esse domínio geológico associa aos gnaisses a maior parte das cicatrizes, totalizando 89,4% das áreas deslizadas (TABELA 20). Outro grupo geológico com destaque nas ocorrências de cicatrizes são os Granitos com suas formações – Psimr, Psidf, Psipi, correspondendo 11,6% das áreas deslizadas.

TABELA 20: Área das cicatrizes conforme os tipos Geológicos.

SIMBOLOGIA	TIPO	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Psipi	Granitos Piraí	76.936,50	7,4
Ala	Gnaisses	925.892,63	89,4
Psidf	Granitos Dona Francisca	12.477,92	1,2
Psimr	Granitos Morro Redondo	20.603,03	2,0
Total		1.035.910,07	100,0

A distribuição das porcentagens de áreas de encosta e deslizadas segundo o tipo geológico podem ser observada na FIGURA 31.



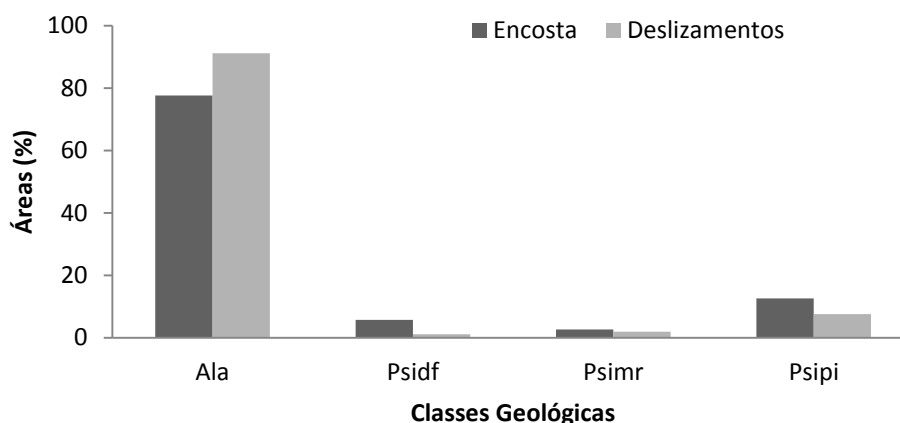


FIGURA 31: Área da encosta e das cicatrizes conforme os tipos Geológicos.

Os pesos atribuídos às classes geológicas (TABELA 21) levam em conta o controle estrutural exercido, a permeabilidade, a resistência e a profundidade da camada de solo originado sobre o tipo litológico. Aos gnaisses foi atribuído o peso 7 pois sobre os mesmos desenvolve-se uma camada de material intemperizado, relativamente espessa e de baixa resistência. Para as variações de granitos foi atribuído um peso intermediário (peso 5) pois a camada de material intemperizado sobrejacente a classe é muito delgada. No caso dos depósitos coluviais, encontrados nas baixas encostas, foi atribuído peso 3 e para os depósitos aluviais peso 2. Com esses pesos foi gerado o mapa de perigo para a condicionante geologia (FIGURA 32).

TABELA 21: Pesos atribuídos ao fator de perigo geologia.

Classes	Pesos
Depósito aluvial	2
Áreas urbanizadas	3
Depósito coluvial	3
Granito Piraí	5
Granitos Morro Redondo	5
Granitos Dona Francisca	5
Gnaisses Granulíticos	7

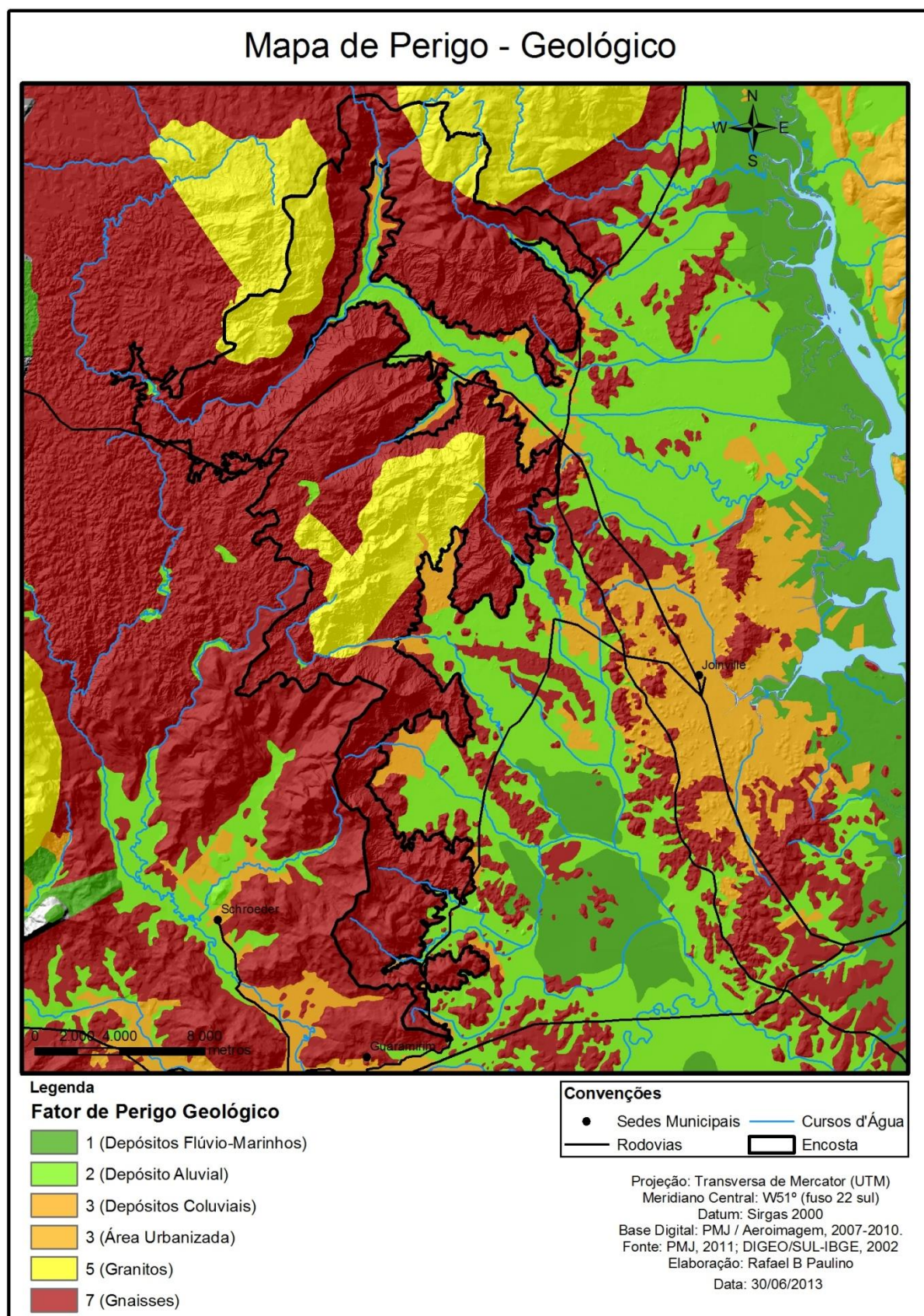


FIGURA 32: Mapa de fator de perigo para a condicionante Geologia da área de estudo.

#### 7.2.4 Fator de Perigo para a Condicionante Cobertura Pedologia

A cobertura Pedológica da Área de Estudo é fortemente condicionada pela compartimentação do relevo. Assim, nas áreas de encosta com baixas declividades há intensa ocorrência de Cambissolos, no Planalto se concentram os Argissolos, enquanto que nas encostas íngremes há a ocorrências dos Neossolos Litólicos.

Na Área de estudo há um predomínio de Argissolo Amarelo com área equivalente a 43%, seguido por Neossolo Litólico com 41,3%, e por último Cambissolo Háplico com 15% de cobertura. Com menor significância ainda ocorre na zona das encostas Gleissolo Háplico, Nitossolo Vermelho e Cambissolo Flúvico.

De fato, os Neossolos concentram a grande maioria das cicatrizes, com 75,6% das áreas deslizadas, bastante diferente dos Argissolos Amarelos, que ocupam 18,8% da área deslizada (TABELA 22).

TABELA 22: Área das cicatrizes conforme os tipos Pedológicos.

Sigla	Solo	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
CXd	Cambissolo Háplico	57.308,22	5,5
RLd	Neossolo Litólico	783.354,08	75,6
PAd	Argissolo Amarelo	195.247,77	18,8
Total		1.035.910,07	100

A distribuição das porcentagens de áreas de encosta e deslizadas segundo o tipo pedológico podem ser observada na FIGURA 33.

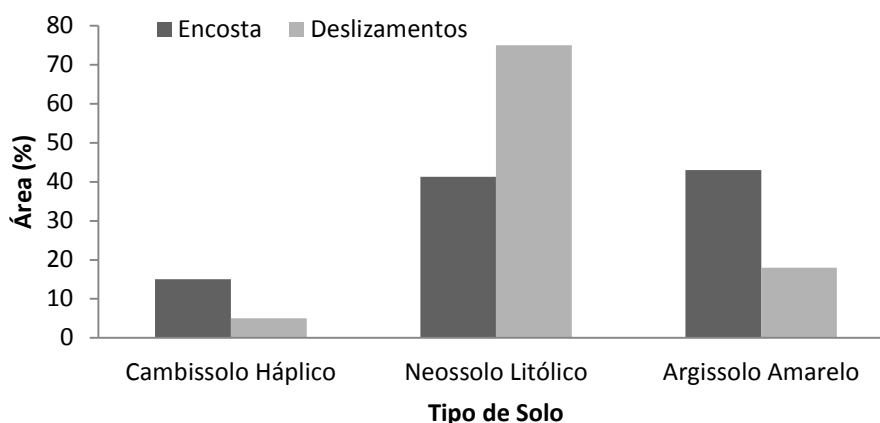


FIGURA 33: Área da encosta e das cicatrizes conforme os tipos Pedológicos.

Os pesos foram atribuídos de acordo com o potencial de erodibilidade de cada tipo de solo, conforme PMJ (2011). Sendo assim, o Gleissolo Háplico recebeu valor igual a 1, por possuir potencial de erosão nulo. Já o Cambissolo Flúvico possui um peso 2 por possuir potencial de erosão nulo ou ligeiro. O Cambissolo Háplico recebeu peso 5 por possuir uma capacidade média de erodibilidade. O Argissolo Amarelo recebeu peso 7 por ter uma capacidade de erosão forte e o Neossolo Litólico tem peso 9 por possuir um potencial muito forte de erosão (TABELA 23). Com esses pesos foi gerado o mapa de perigo para a condicionante cobertura Pedológica (FIGURA 34).

TABELA 23: Pesos atribuídos ao fator de perigo Cobertura Pedológica.

Solo	Peso
Cambissolo Háplico	3
Nitossolo Vermelho	4
Gleissolo Háplico	1
Neossolo Litólico	9
Cambissolo Flúvico	2
Argissolo Amarelo	7



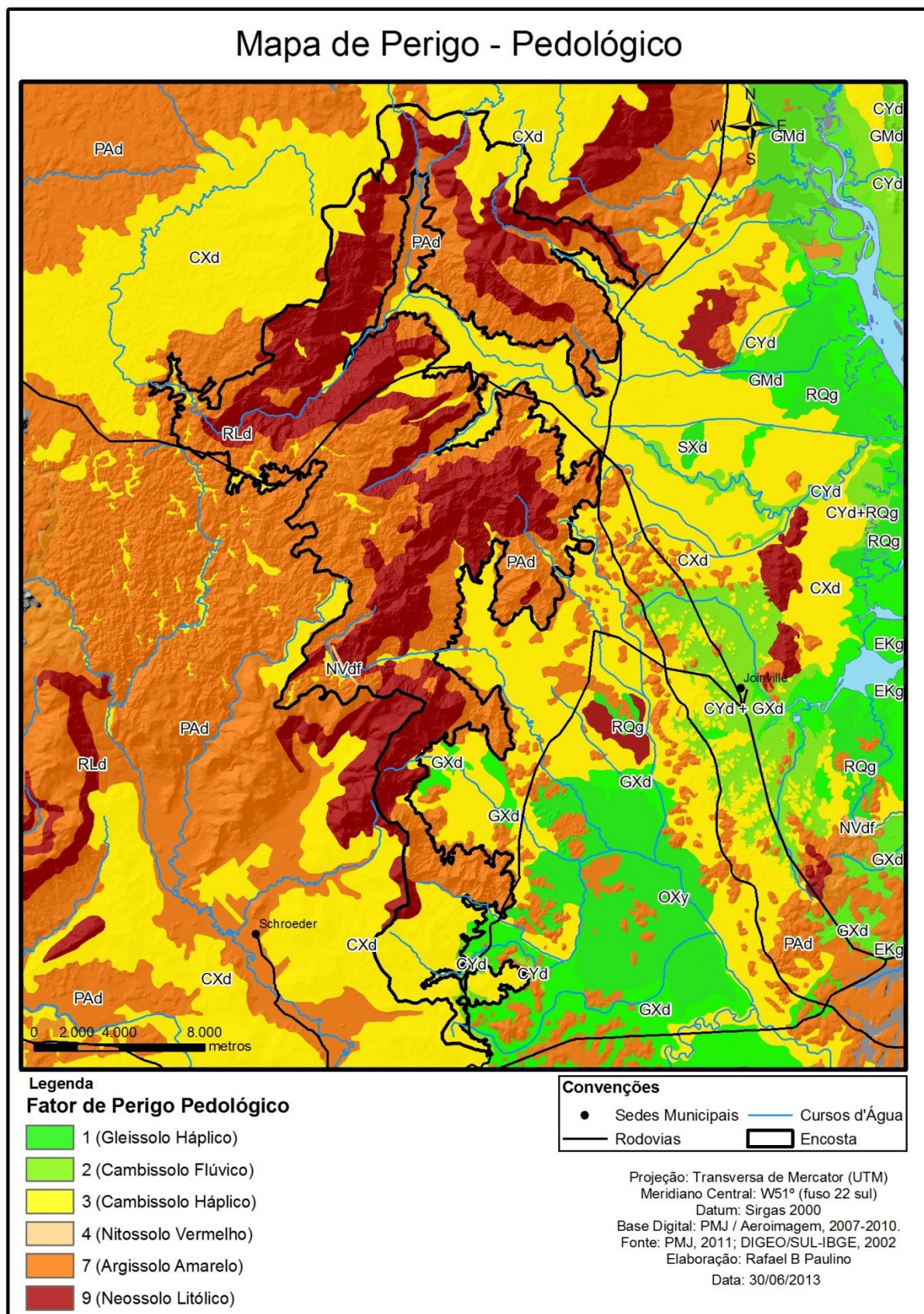


FIGURA 34: Mapa de fator de perigo para a condicionante Cobertura Pedológica da Área de Estudo

### 7.2.5 Fator de Perigo para a Condicionante Uso do Solo

A Área de Estudo tem por característica boa preservação de suas propriedades ambientais naturais, principalmente pela dificuldade de exploração das encostas da Serra do Mar. Desta forma, é expressiva a ocorrência de deslizamentos nas encostas com uma densa cobertura vegetal, cabe lembrar que 94% da área de encosta é recoberta pela Mata Atlântica em seus diferentes estágios sucessionais. Por isso mesmo não surpreende que 92,8% da área das cicatrizes ocorram nesta classe de uso.

Tais resultados são compatíveis com as discussões levantadas na literatura sobre esse fator em questão. De fato, conforme Kobiyama *et al.* (2012) a existência de cobertura vegetal não neutraliza a ação dos movimentos gravitacionais. No entanto sabemos que áreas com densa cobertura vegetal, em geral, apresentam poucos registros de movimentos gravitacionais com baixa magnitude, o que não é o apontado neste estudo e remete à existência de significativos episódios pluviométricos nesta região, visto o volume de ocorrências registradas.

Desta forma, os pesos atribuídos ao fator de perigo Uso do Solo foram definidos conforme TABELA 24, onde a área urbanizada e o solo exposto receberam a pontuação 9, sendo assim as áreas mais susceptíveis aos deslizamentos. A classe "gramínea" recebeu peso 5, neste caso trata-se de áreas na baixa encosta, que originalmente eram recobertas por florestas, e que atualmente servem a pecuária com processos iniciais de desestabilização devido a ação do pisoteio do gado.

TABELA 24: Pesos atribuídos às classes de Uso do Solo.

Classe de Uso	Peso
Gramínea	5
Vegetação	3
Solo Exposto	9
Área Urbanizada	9
Rizicultura	1
Água	0

Segundo Fiori1995 a capacidade de estabilização da encosta pela vegetação diminui com o aumento da declividade. A ponto de, em altas declividades a



vegetação pode contribuir para a instabilidade da encosta. Assim, para a criação da tabela de pesos das classes de Uso do Solo, a classe vegetação recebeu peso 3. Com esses pesos foi gerado o mapa de perigo para a condicionante uso do solo (FIGURA 35).

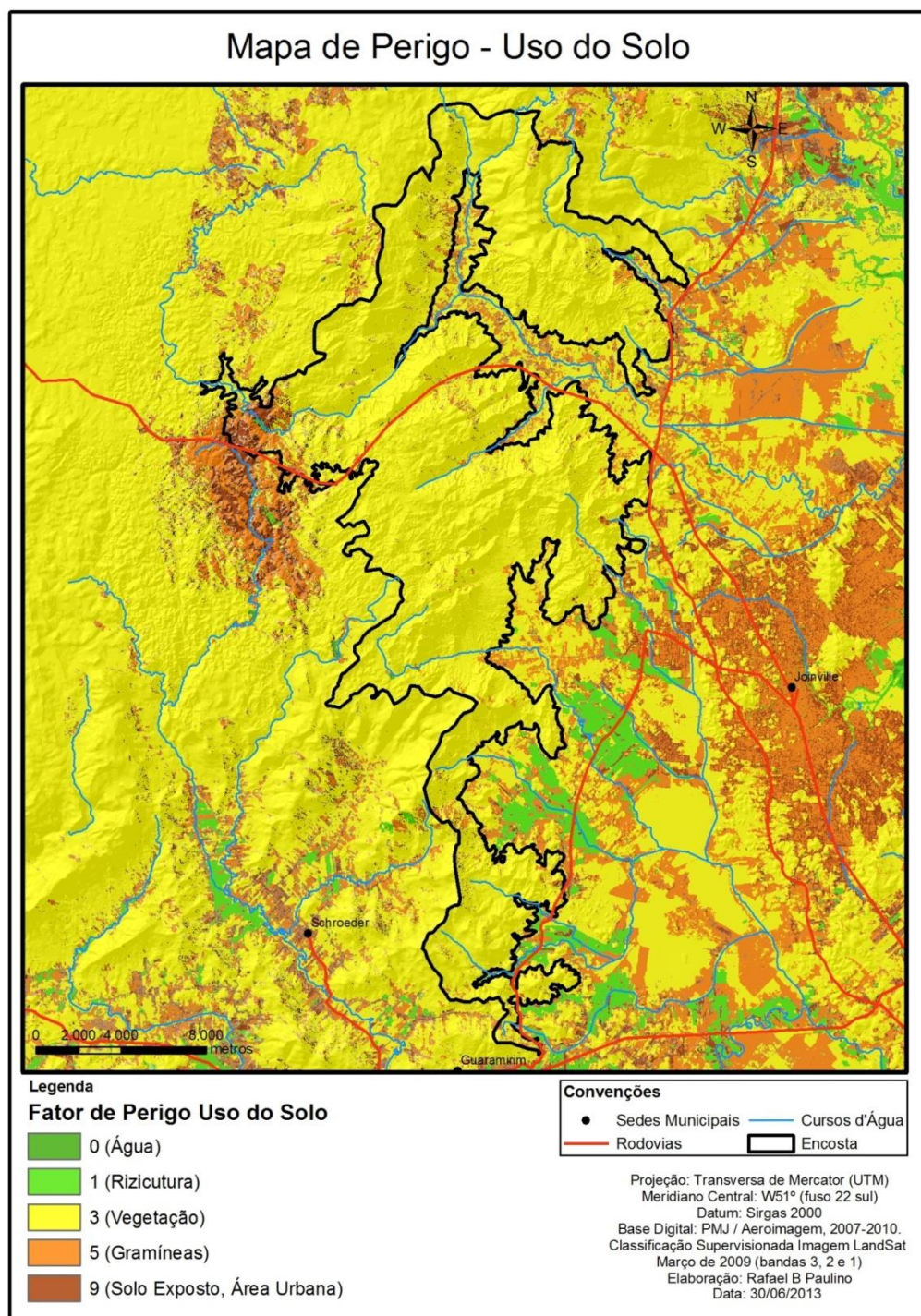


FIGURA 35: Mapa de fator de perigo para a condicionante Uso do Solo da área de estudo.

A TABELA 25 apresenta as áreas e as porcentagens das cicatrizes de acordo com a classe de uso do solo. E, é apresentado o mapa de perigo para o condicionante uso do solo (FIGURA 35) de acordo com os pesos atribuídos a cada classe, conforme TABELA 24. Os valores variam de 0 a 9, sendo 0 o valor mais baixo e 9 o mais crítico.

TABELA 25: Área das cicatrizes segundo o Uso do Solo

Uso do Solo	Área	Área (%)
Gramíneas	80.736,78	7,79
Vegetação	954.793,69	92,17
Solo Exposto	379,58	0,04
Total	1.035.910,06	100

A distribuição das porcentagens de áreas de encosta e deslizadas segundo o uso do solo podem ser observada na FIGURA 36.

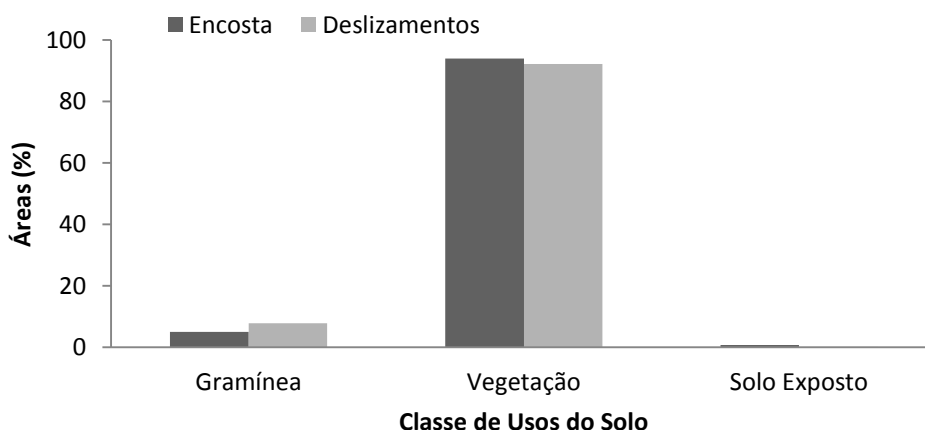


FIGURA 36: Área das cicatrizes segundo o Uso do Solo

### 7.3 MODELOS DE PERIGO A DESLIZAMENTOS

Os modelos gerados pelo método AHP se caracterizam por apresentarem os resultados de uma série de combinações dos diferentes fatores condicionantes. A principal desvantagem deste método é a subjetividade na aplicação dos pesos e na

criação da matriz de preferência. Porém, o baixo custo e a capacidade de produzir bons resultados para áreas específicas são apontados como as vantagens da aplicação deste método.

Desta forma, optou-se pela elaboração de três modelos, com variações na matriz de preferência, para testar a melhor situação para a Área de Estudo (FIGURA 37). A seguir, será apresentado cada um dos modelos, bem como suas características quantitativas e qualitativas. Vale ressaltar que os pesos atribuídos às classes de cada fator condicionante não foram alteradas para os modelos.

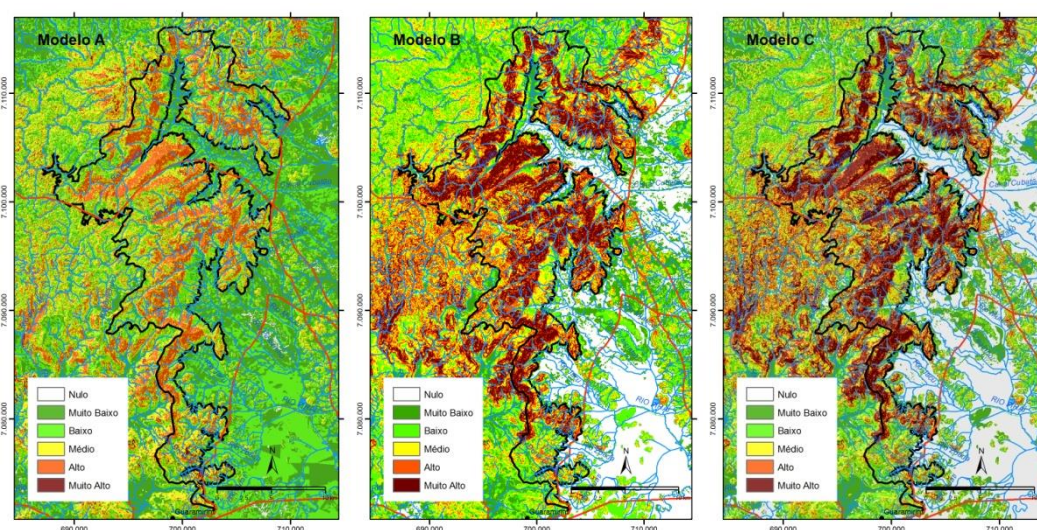


FIGURA 37: Modelos propostos à área de estudo.

### 7.3.1 Modelo A

Inicialmente optou-se pela elaboração de um cenário onde os fatores condicionantes têm o mesmo papel na geração de área de perigo. Sabe-se que esta não é a realidade, a priori, alguns fatores são mais determinantes que outros. A TABELA 26 apresenta a matriz de preferência do modelo A. Nota-se que todos os fatores têm a mesma relevância.

TABELA 26: Matriz de preferência do Modelo A.

	Declividade	Pedologia	Geologia	Uso do Solo	Posição da Vertente
Declividade	1	1	1	1	1
Pedologia	1	1	1	1	1
Geologia	1	1	1	1	1
Uso do Solo	1	1	1	1	1
Posição da Vertente	1	1	1	1	1

Além de saber que os fatores têm importâncias diferentes na estabilidade da encosta, este modelo deve ser descartado pois seu Fator de Inconsistência (RC), que mede o grau de confiabilidade do modelo, foi de 1,11, muito longe do recomendado ( $<0,1$ ).

A FIGURA 38 apresenta o resultado do cruzamento do Modelo A com o inventário de cicatrizes. A variação do perigo deve-se aos pesos atribuídos as classes dos fatores condicionantes. Assim temos de 51,3 das cicatrizes ocorrem em áreas com alto grau de perigo de deslizamentos. O que evidencia a suavização do grau de perigo, pois menos de 1% das cicatrizes está na classe "Muito Alto".

## Modelo A

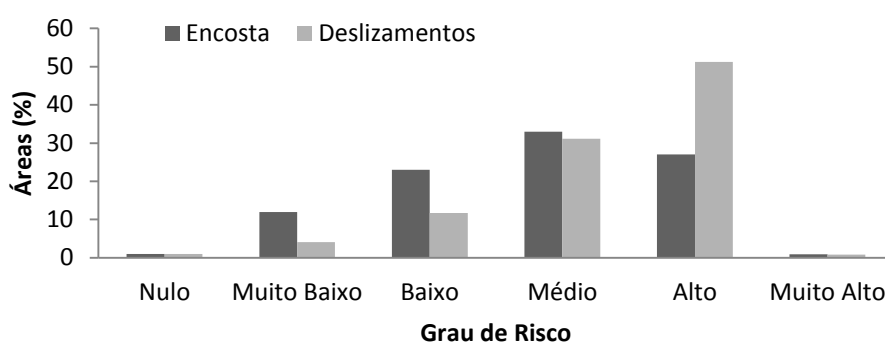


FIGURA 38: Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo A.

A FIGURA 39 mostra o detalhamento do Modelo A de perigo.



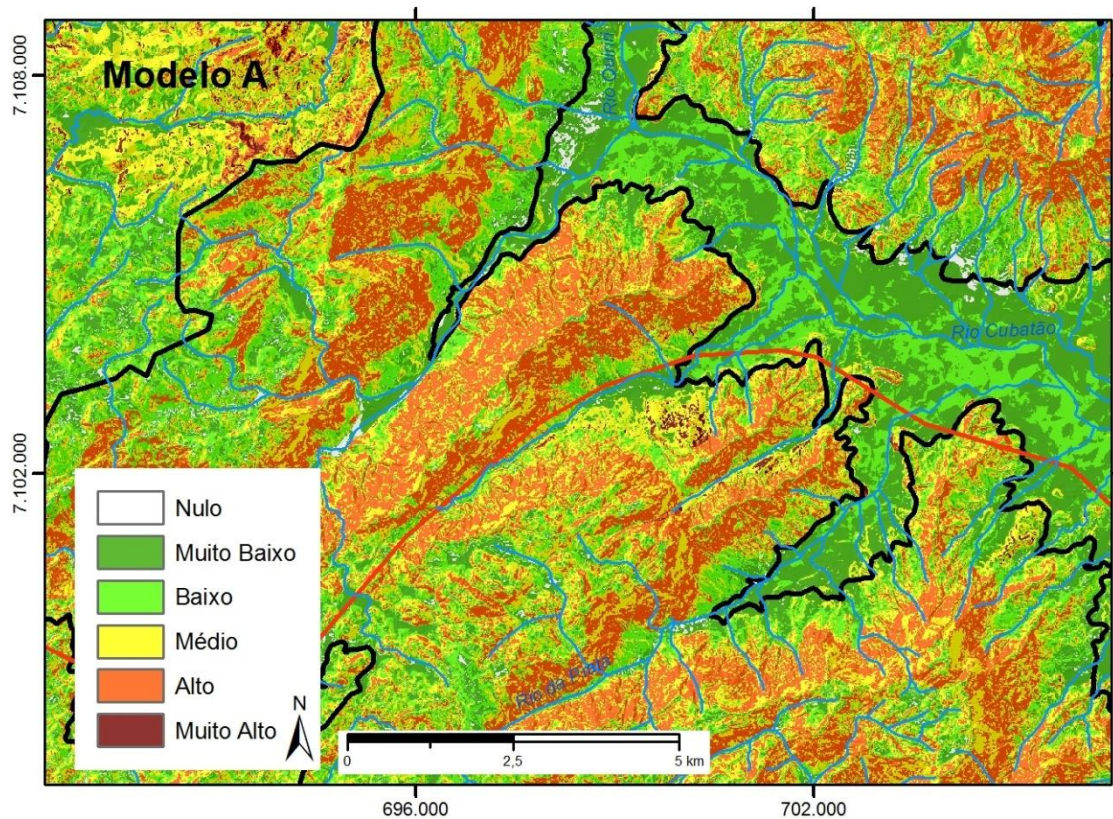


FIGURA 39: Detalhamento do Modelo A nas áreas de maior incidência de deslizamentos.

### 7.3.2 Modelo B

No Modelo B a matriz de preferências (TABELA 27) foi criada de forma a destacar o papel da declividade e da cobertura Pedológica, correspondendo a 44% e 27% do peso do final do modelo, respectivamente (TABELA 28).

TABELA 27: Matriz de preferência do Modelo B.

	<b>Declividade</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Posição da Vertente</b>	<b>Uso do Solo</b>
Declividade	1	3	3	4	5
Pedologia	0,33	1	3	4	4
Geologia	0,33	0,33	1	3	3
Posição da Vertente	0,25	0,25	0,33	1	0,33
Uso do Solo	0,2	0,25	0,33	3	1

Sem dúvida a declividade é a principal condicionante de perigo para a área de estudo, porém é difícil estimar o seu grau de importância. Desta forma, a matriz de preferência (TABELA 28) foi construída indicando a prevalência da declividade sobre todos os outros fatores. E a pedologia sendo menos importante apenas que a declividade. O fator posição da Vertente não tem prevalência sobre os outros fatores. Conforme a TABELA 27, os valores do grau de importância dos fatores estão entre pouco (3) e moderado (5).

A partir da combinação destes fatores com os pesos apresentados na matriz de preferência, temos os pesos finais dos fatores condicionantes, conforme TABELA 28. O modelo produziu um Fator de Inconsistência de 0,08, portanto adequado ao método AHP.

TABELA 28: Pesos finais dos fatores condicionantes no Modelo B

Condicionantes	Peso final
Declividade	43,7%
Pedologia	26,8%
Geologia	15,2%
Posição da Vertente	5,8%
Uso do Solo	8,6%

O Modelo B (FIGURA 40) quando comparado com o inventário das cicatrizes produziu resultados satisfatórios para o grau de perigo de deslizamentos. Mais de 80% das cicatrizes estão em áreas com "Alto" ou "Muito Alto" perigo. O que indica uma correlação positiva entre os fatores condicionantes e os deslizamentos, principalmente declividade e cobertura pedológica. Outro resultado de destaque é a inexistência de cicatrizes em área de perigo "Nulo", o que permite afirmar que nessas áreas o perigo de deslizamento tende a zero (FIGURA 41).



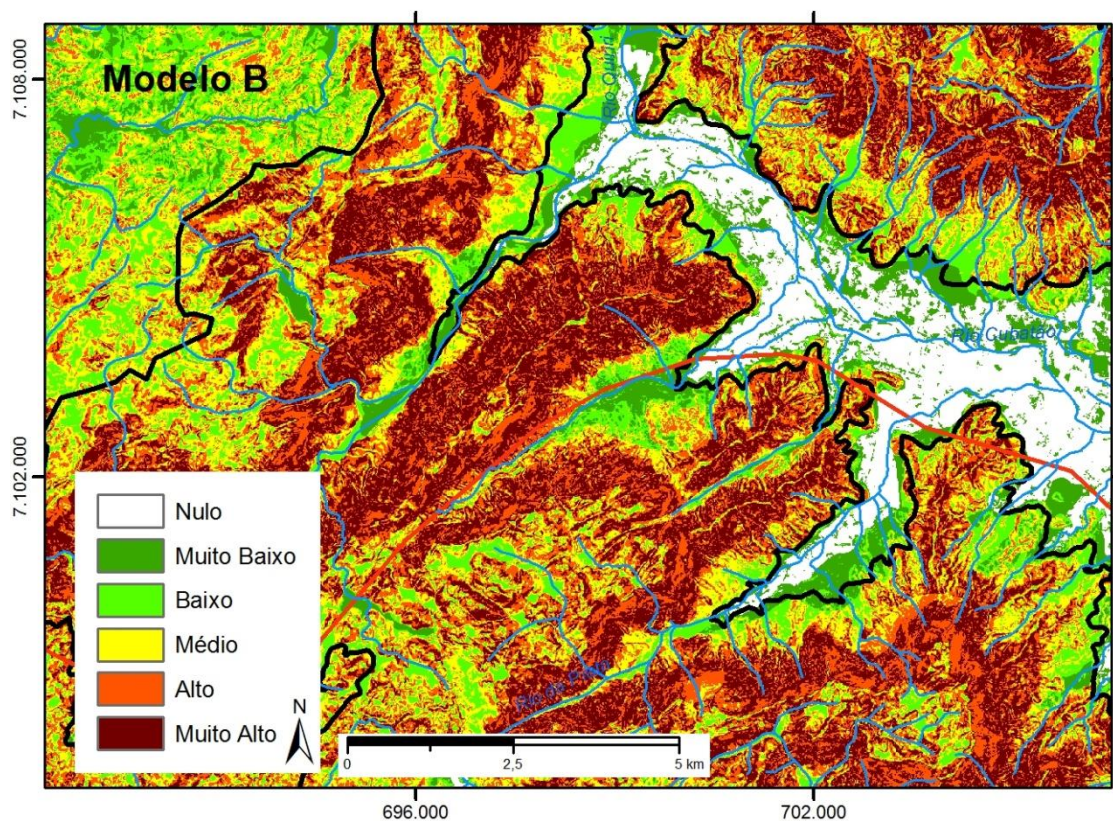


FIGURA 40: Detalhamento do Modelo B nas áreas de maior incidência de deslizamentos.

Usando a subjetividade inerente ao método, e analisando a tabela de distribuição do peso final dos condicionantes (TABELA 28) e o Fator de Inconsistência (RC) o Modelo B foi escolhido como sendo o mais adequado na representação da realidade local. Neste modelo os pesos de Declividade e Pedologia estão bem distribuídos, o que condiz com as expectativas levantadas na literatura.

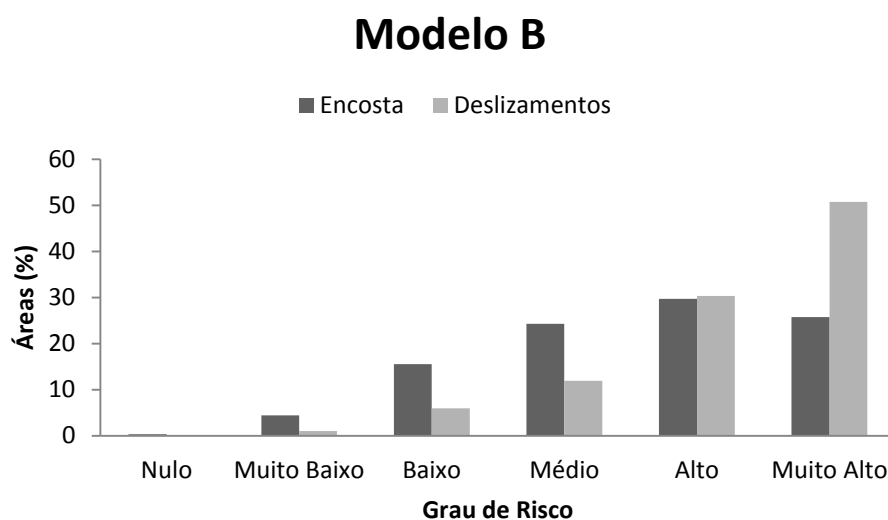


FIGURA 41: Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo B.

### 7.3.3 Modelo C

Finalmente, produziu-se um cenário onde o papel da declividade é ainda mais acentuado, conforme matriz de preferências (TABELA 29). O valor de importância da declividade foi aumentado para "moderado" (valor = 5), onde era "pouco" (valor = 3), e para "muito" (valor = 7) onde era "moderado". Com isso, o peso final da Cobertura Pedológica perdeu um pouco de importância (TABELA 30).

TABELA 29: Matriz de preferência do Modelo C

	Declividade	Pedologia	Geologia	Posição da Vertente	Uso do Solo
Declividade	1	5	5	7	7
Pedologia	0,2	1	3	5	3
Geologia	0,2	0,33	1	3	2
Posição da Vertente	0,14	0,2	0,33	1	0,33
Uso do Solo	0,14	0,33	0,5	3	1

Deste modo, o modelo aponta para um peso final da condicionante declividade no valor de 56,4%, enquanto a condicionante Cobertura Pedológica obteve peso final 20,7%. Os dois fatores juntos correspondem a mais de 77% do

peso final do modelo (TABELA 30). Com isso, o Fator de Inconsistência obtido foi de 0,06, o mais baixo entre os três cenários, segundo Saaty (1990) este seria a melhor opção entre eles.

TABELA 30: Pesos finais dos fatores condicionantes no Modelo C

Condicionantes	Peso final
Declividade	56,4%
Pedologia	20,7%
Geologia	10,9%
Posição da Vertente	4,3%
Uso do Solo	7,8%

O cruzamento do Modelo C (FIGURA 42) com o inventário das cicatrizes indica que 50,9% das cicatrizes ocorrem em áreas com grau de perigo "Muito Alto", o melhor resultado para essa classe entre os três cenários, apesar de muito próximo à mesma classe do Modelo B (FIGURA 43).

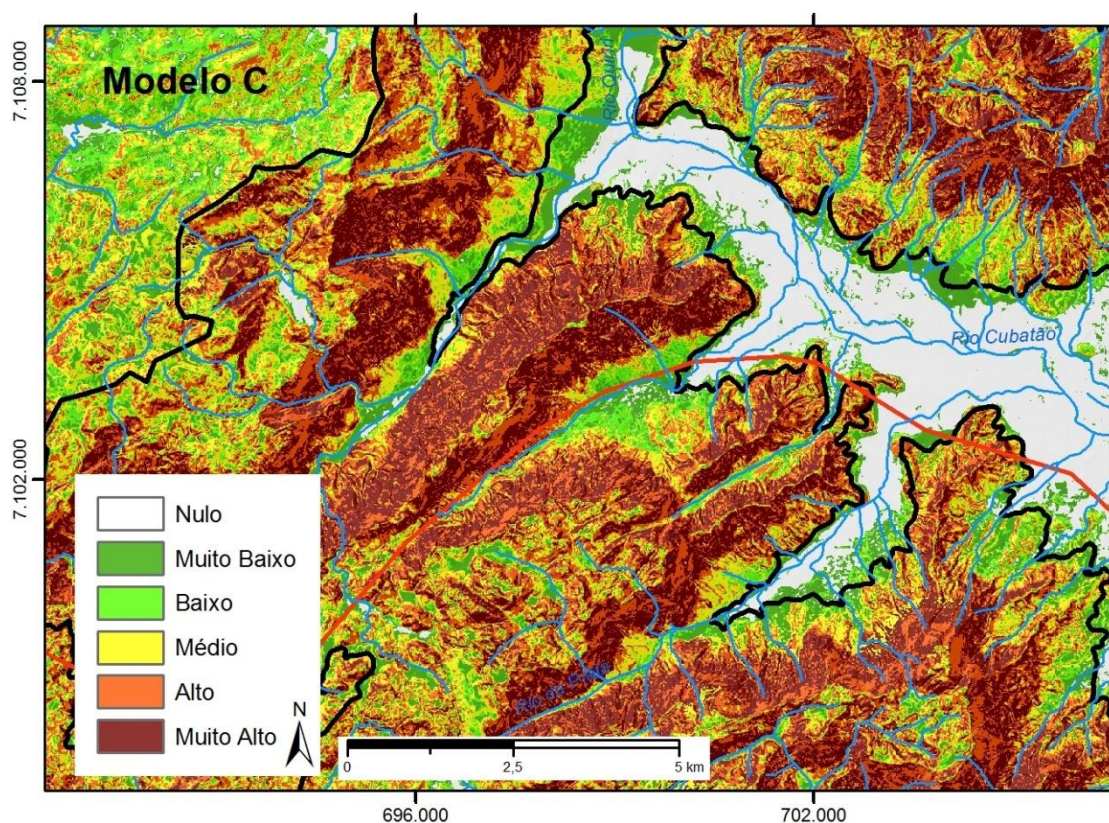


FIGURA 42: Detalhamento do Modelo C nas áreas de maior incidência de deslizamentos.



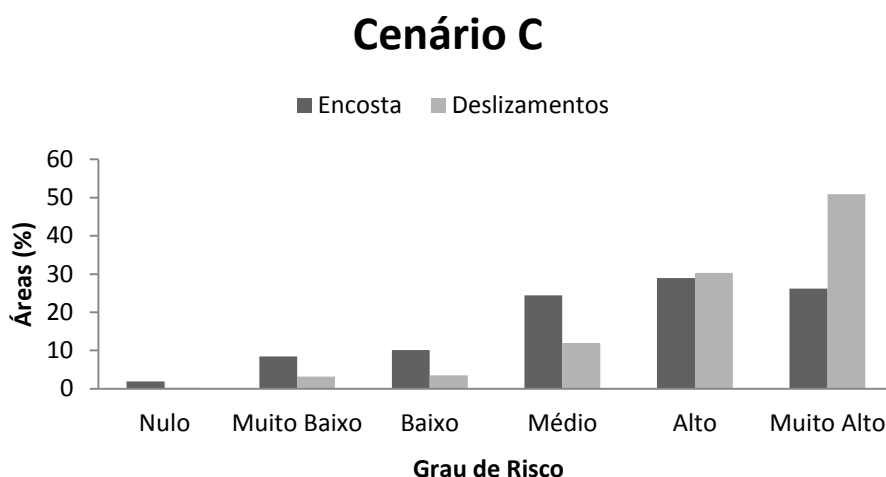


FIGURA 43: Área da encosta e das cicatrizes segundo o grau de Perigo a deslizamentos do Modelo C.

#### 7.4 ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE

A região nordeste de Santa Catarina apresenta os maiores índices pluviométricos do estado. De fato, a presença das escarpas da Serra do Mar junto à costa aumenta a quantidade de chuvas provocadas pela ação do efeito orográfico. Por isso, em anos mais chuvosos, o número de dias com chuva pode superar a marca de 160 dias e os índices podem ser superiores a 2.300mm anuais, com extremos de mais de 3.500mm. Destaca-se que a cobertura da rede pluviométrica não cobre adequadamente as encostas da Serra do Mar nesta região. O que de fato prejudica as análises de precipitação pluviométricas para essas áreas. Segundo Milanesi e Galvani (2011) nas encostas da Serra do Mar é esperado um aumento de 60% em média no volume de precipitação em relação aos volumes medidos nas planícies vizinhas.

Usando o método da Krigagem ordinária Oliveira (2006) propôs um mapa de pluviosidade a partir dos resultados colhidos de 22 estações em um período superior a 60 anos (1940 a 2006), com um universo de 462 totais anuais registrados. O mapa proposto por Oliveira (op. cit) é apresentado na FIGURA 44, onde é possível identificar 5 classes variando de <1.900mm anuais até >2.500 mm anuais. Nele a

maioria das ocorrências de deslizamentos concentra-se nas duas faixas de maior precipitação, confirmando a expectativa de que a precipitação é de fato o agente desencadeador dos deslizamentos.

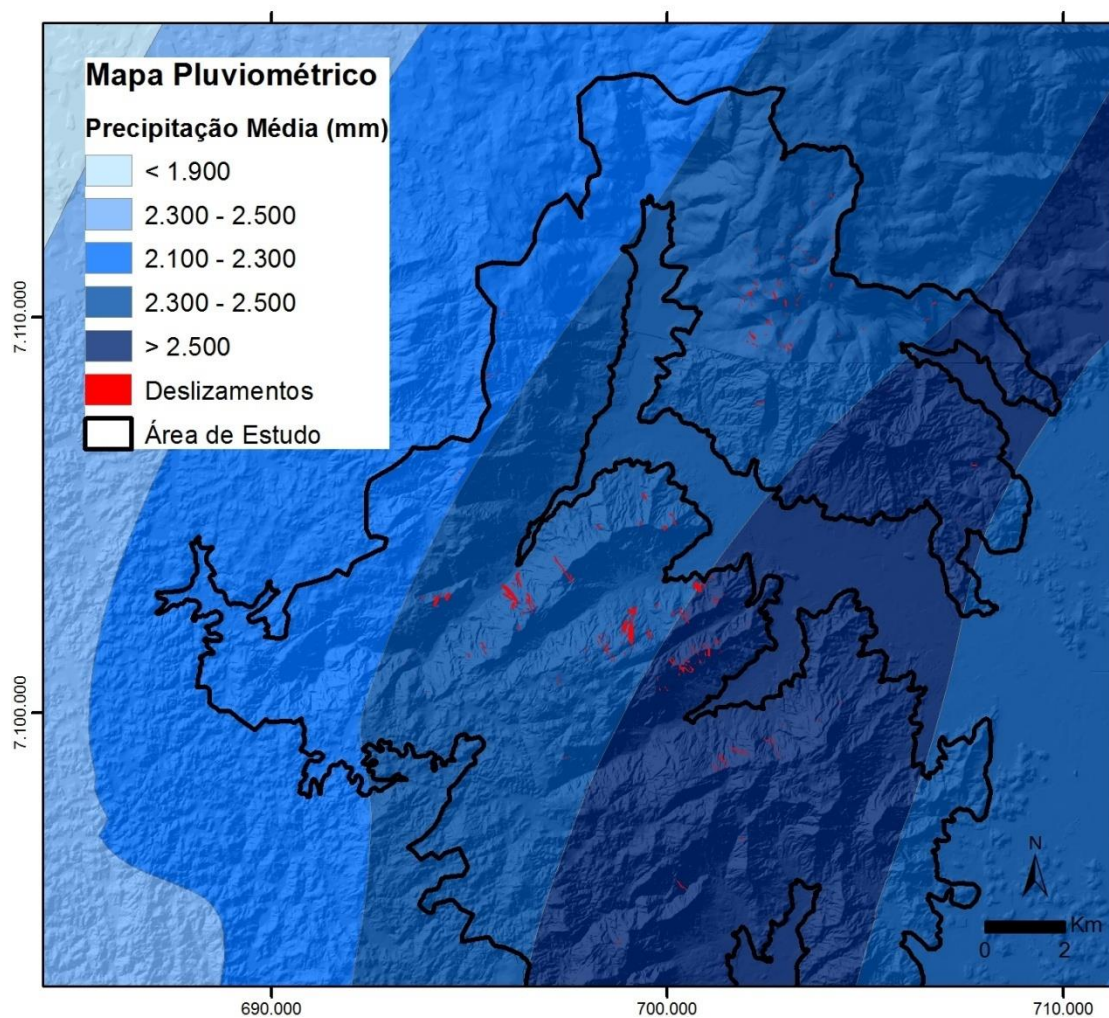


FIGURA 44: Mapa da precipitação média anual das bacias Cubatão e Pirabeiraba.  
Fonte: Oliveira (2007).

Segundo dados para o período analisado, a região pode apresentar médias que variam de pouco mais 1.500mm até maior que 3.000mm por ano. Essa variação está diretamente ligada a compartimentação geomorfológica. Sendo as maiores médias encontradas próximas à encosta e as menores no planalto.

Na busca de indicadores que colaborassem com a interpretação da causa da deflagração dos deslizamentos, foi analisado os registros dos totais diários de 6 estações próximas à área de estudo. Os dados foram compilados em tabelas Excel e agrupados em três grupos, a saber: os 20 maiores registros diários, os 20 maiores registros acumulados de três dias, e os 20 maiores registros acumulados de 7 dias.

Conforme FIGURA 45 o conjunto das observações permite identificar grandes eventos pluviométricos ao longo do período analisado. Nos gráficos de precipitação diária é possível identificar pelo menos um evento em cada estação com índices superiores a 200mm, sendo o maior registrado na estação Primeiro Salto Cubatão (384 mm). Vale destacar que este pico pode apresentar alguma inconsistência, visto que o restante dos registros não se aproximam desse valor, as estações próximas registraram cerca de 30mm nesta data e Silveira *et al.* (2009) não fazem qualquer menção a danos materiais ou naturais causados nesta data.

Para os registros de três dias chama a atenção à frequência de eventos superiores a 300mm, sendo que alguns casos os valores são próximos a 400mm de precipitação acumulada em três dias. São pelo menos 10 eventos com mais de 300mm de precipitação em três dias. Estes volumes podem ser deflagradores de deslizamentos, principalmente se os maiores volumes estiverem concentrados em algum momento dessas 72 horas.

Nos registros de precipitação acumulada de 7 dias destaca-se os eventos que foram identificados nos mapeamentos, a saber: 10/2/1995; 23/8/2008; 25/3/2010 e 11/3/2011.





FIGURA 45: As 20 maiores Precipitações diárias, acumuladas de 3 dias e de 7 dias para as estações Garuva, Pirabeiraba, estrada dos Morros e Primeiro Salto Cubatão.

Estes eventos foram identificados no inventário de cicatrizes. Talvez se a base cartográfica permitisse outros eventos poderiam ser identificados, como o ocorrido em fevereiro de 2001, que conforme relatado em Silveira *et al.* (2009) deixou estragos pela cidade.

A FIGURA 45 compila os dados coletados pelas estações nas datas dos eventos mapeados. Conclui-se que apesar da proximidade os valores podem ser sensivelmente discordantes. Vejamos alguns exemplos.

Para o evento de 10/02/1995 os registros foram superiores a 125mm, chegando a 252mm na estação Pirabeiraba, com exceção da estação Estrada dos Morros que registrou valores muito abaixo das outras estações. Novamente é possível perceber que há fatores de circulação atmosférica local que agem diretamente nos vales dos rios Cubatão e Pirabeiraba, lembrando que a estação Estrada dos Morros fica na bacia do rio Pirai. Esta condição atmosférica também é verificada no evento de 23/03/2010, onde as estações Garuva e Primeiro Salto Cubatão registram valores menores do que aqueles registrados na bacia do Pirai (TABELA 31).

TABELA 31: Volumes medidos nas estações durante os principais eventos pluviométricos.

Garuva				Pirabeiraba			
Data	Diária	3dias	7dias	Data	Diária	3dias	7dias
10/02/1995	125,6	313,3	331,6	10/02/1995	252	485,5	500,4
23/11/2008	225,6	397,9	405,1	23/11/2008	232,8	316,4	320,4
25/03/2010	36,9	39,5	46,4	25/03/2010	156,8	173,1	175,2
11/03/2011	102,9	121,7	182,8	11/03/2011	121,3	158,1	214,3

Estrada dos Morros				Primeiro Salto Cubatão			
Data	Diária	3dias	7dias	Data	Diária	3dias	7dias
10/02/1995	14	36,6	62,3	10/02/1995	168,6	273	287,7
23/11/2008	209,3	340,7	394	23/11/2008	65,4	140	149,4
25/03/2010	138,6	192,8	196,7	25/03/2010	90,3	112,1	123,8
11/03/2011	179,8	220,3	310,7	11/03/2011	118,5	149	252,1

Outro fato identificado na TABELA 31 é que todos os eventos têm o registro de pelo menos um pico de precipitação diária superior a 150mm, e que associados às chuvas com 72 horas de antecedência superiores a 300mm são eventos de maior magnitude.

A análise dos registros de precipitação acumulada de 7 dias não foram conclusivos para os eventos avaliados.

Contudo, a análise da precipitação levanta indícios de outros fenômenos que atuam na região. Estudos mais aprofundados poderão investigar os motivos que regem os eventos pluviométricos locais. De fato, há uma diferenciação entre os volumes precipitados nas bacias analisadas. Talvez isso se explique pelo efeito orográfico atuante na região que é potencializado pela entrada de umidade e calor trazidos pela massa Equatorial continental (mEc). Se isso for confirmado, o fato de as ocorrências de deslizamentos estarem concentradas nas encostas voltadas para as direções Norte, Nordeste e Noroeste poderia estar relacionado a este fenômeno.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O inventário de cicatrizes de deslizamentos apresentado neste trabalho pode colaborar para o entendimento da evolução das vertentes e da dinâmica entre produção e transporte de sedimentos pela calha fluvial, para isso sendo necessários estudos mais aprofundados. Neste momento o inventário das cicatrizes contribui com os estudos de modelos de perigo a deslizamentos, que é o caso deste projeto. Foram identificadas 199 cicatrizes com um total de 1,03 km<sup>2</sup> ocorridas entre 1995 a 2011.

De fato, as encostas da Serra do Mar são intensamente afetadas por esses processos naturais que podem configurar um risco natural caso não ocorra um controle sobre a ocupação dessas áreas. Neste caso, o inventário aqui levantado vem contribuir para a necessidade de mais estudos quanto à fragilidade local. Como dito anteriormente, estudos de inventários são escassos e pontuais, sendo apontado como grave problema na gestão do território. Desta forma, é necessária a adoção de práticas constantes para alimentar os inventários já existentes.

Tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos propostos para este estudo foram alcançados de forma satisfatória, exceto a determinação do volume crítico de precipitação que é capaz de deflagrar os deslizamentos. Os trabalhos de campo e gabinete possibilitaram o levantamento das informações que subsidiaram o entendimento dos processos atuantes na promoção de áreas de instabilidade nas encostas, condicionadas por determinados fatores e deflagrada pela precipitação pluviométrica.

Os resultados expostos neste estudo apontam como principais condicionantes aos deslizamentos a declividade e a cobertura pedológica. Sendo possível assim, propor um mapa de perigo para a área de estudo calibrado com os pesos de importância das condicionantes, sem desprezar o peso da geologia, Orientação de Vertentes e uso do solo.

Para a área de estudo a condicionante Orientação de Vertentes apresentou comportamento diverso do que o proposto na literatura. Conforme discutido nos resultados, as encostas que deveriam ser as mais estáveis têm a maior

concentração de cicatrizes. A questão não foi aprofundada por não ser parte do foco deste trabalho, podendo desta forma ser objeto de investigação de trabalho futuro. No entanto, a hipótese levantada nas discussões tenta associar tal característica a ação da circulação atmosférica local, que dá condições de umidade e precipitação diferenciada as encostas da Serra do Mar na região.

Não foi possível propor o valor exato do volume de precipitação necessário para desestabilizar a encosta, pois a maioria dos métodos utiliza dados de precipitação horária para determinar o volume crítico (Guidicini e Iwasa, 1976; Tatizana *et al.* 1987; Au, 1998; Dai e Lee 2002, entre outros)

A análise da precipitação pluviométrica também apresentou resultados que podem ser melhor investigados em trabalhos futuros. É o caso da diferença nos volumes registrados nas bacias dos rios Cubatão e Pirai. De fato, para alguns eventos não há uma correspondência entre os volumes medidos em ambas. As diferenças naturais entre elas são evidentes, mas determinar o que provoca essa variação nos volumes de precipitação é tarefa árdua. Uma das consequências dessa diferença fica aparente no mapa de distribuição das cicatrizes de deslizamentos, há uma grosseira concentração de cicatrizes no interior das bacias do Cubatão e Pirabeiraba.

De fato, há poucos registros de deslizamentos provocados por pequenos volumes de precipitação. Todos os deslizamentos registrados neste trabalho estão associados a eventos de intensa precipitação. O que é comum para a região é a recorrência desses eventos de altas magnitudes. No período pesquisado foram pelo menos quatro eventos de destaque, sendo que três deles ocorreram nos últimos 5 anos. O trabalho, como esperado, aponta para uma relação positiva entre os deslizamentos e os eventos pluviométricos de alta magnitude.

Finalmente, os resultados obtidos aqui podem ser utilizados para a gestão de áreas de perigo. Sendo satisfatório o uso do método AHP na determinação de encostas potencialmente críticas, devendo assim ser restringido o uso dessas áreas.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E CARTOGRÁFICAS

### 9.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas** – HidroWeb. [HTTP://hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br). Acesso em 15/07/2011

ALMEIDA, F.F.M. e CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v.28, n. 2, p. 135-150, 1998.

AU, S.W.C. Rain-induced slope instability in Hong Kong. **Engineering Geology**, v. 51, pp. 1-36, 1998.

BRAND, E.W., PREMCHITT, J, PHILLIPSON, H.B. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: **proceedings of the 4th International Symposium of Landslides**, v. 1, pp. 377-384, Toronto, 1984.

BRUGGER, P. J., M. EHRLICH e W. A. LACERDA. Movements, Piezometric Level and Rainfall at Two Natural Soil Slopes In **2 Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas/2nd Pan-American Symposium on Landslides**, Rio de Janeiro: 13-19, 1997.

CAMPBELL, R.H. Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, southern California., **US Geological Survey Professional Paper 851**. US Geological Survey, Washington DC (51 pp), 1975.

CHARLTON, R. Fundamentals of fluvial geomorphology. Routledge, 2008.

CHEN, H. e LEE, C. F. A dynamic model for rainfall-induced landslides on natural slopes. **Geomorphology** 51 269–288, 2003.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. **Geomorphology**. Cambridge: Methuen, 606 p, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHWOLKA, A e RAITH, M. G. Supporting group decisions with the AHP: harmonization vs. aggregation of preferences”, in **Decision theory and optimization in theory and practice**. Org. por WANKA, G. Shaker, Aachen, pp. 17 – 32, 2000.

COELHO-NETO, A. L; AVELAR, A. S.; FERNANDES, M. C. e LACERDA, W. A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de



Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrais. **Geomorphology** n.87 p 120-131, 2007.

CROZIER, M. J. **Landslides: causes, consequences and environment**, New Zeland, 1986.

DAI, F.C. e LEE, C.F. Frequency–volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. **Engineering Geology** 59 (3-4), 253–266, 2001.

DAI, F. C. e LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology** 42: 213-228, 2002.

DAI, F. C. e LEE, C. F. A Spatiotemporal Probabilistic modelling of storm-induced Shallow Landsliding using aerial Photographs and logistic Regression. **Earth Surf. Process. Landforms** 28, 527–545, 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Embrapa, 412p, 1999.

ENDO, T. Probable distribution of the amount of rainfall causing landslides. **Annual Report of the Hokkaido Branch**. Government Forest Experimentation Station, Sapporo, Japão. p. 123-136, 1970.

EYLES, R. J. Slip triggering rainfalls in Wellington City, new Zeland. **New Zeland Journal**. (22): 117-121, 1979.

FATMA. **Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da baía da Babitonga**. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2002.

FERNANDES, N. F. e C. P. AMARAL. Movimentos de massa: uma abordagem Geológico-Geomorfológica. In A. J. T. G. S. B. CUNHA (ed) **Geomorfologia e Meio Ambiente**., Rio de Janeiro, pp. 123-194p, 1996.

FERNANDES, N. F; GUIMARÃES, R. F; GOMES, R. A. T; VIEIRA, B. C; MONTGOMERY, D. R; e GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicações de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Volume 2, Nº 1 51-71, 2001.

FINLAY, P.J., FELL, R., MAGUIRE, P.K. The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. **Canadian Geotechnical Journal** 34, 811/824, 1997.

FIORI, A P. Fatores que influenciam na análise de vertentes e no movimento de massa em esncostas - **Boletim Paranaense de Geociências**, n 43, p 7-24. Ed. da UFPR, 1995.

FIORI, A. P.; BORCHARDT, N. Influência da vegetação na estabilidade de taludes naturais. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 45, p. 43-58, 1997.

FREIRE, E. S. M. Movimentos coletivos de solos e rocha e sua moderna sistemática. Construção 8: 10-18, 1965.

GAPLAN. **Atlas do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, 173p, 1986.

GOVI, M. Laboratorio di ricerca per La protezione idrogeologica nel bacino padano. Attivita scientifica svolta nel 1975. **C.N.R.**, Roma, 1976.

GONÇALVES, M. L. **Geologia para planejamento de uso e ocupação territorial do município de Joinville**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GUIDICINI, G. e O. Y. IWASA. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. **IPT**, São Paulo, pp. 48p, 1976.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, M. N. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: edgard Blucher, 1984.

HASUI, Y.; COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S.; MORALES, N.; JIMENEZ-RUEDA, J.R. Evolução morfotectônica do sudeste do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 40, Belo Horizonte. Anais..., p: 78, 1998.

HIGHLAND, L.M., e BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p, 2008.

HUTCHINSON, J. N. Mass movement. Mass movement. R.W. Fairbridge. Reinhold Book, New York, pp. 688-700, 1968.

IDE, B. Y.; ALTHOFF, D. A.; THOMÉ, V. M. R.; VIZZOTTO, V. J.; **Zoneamento Agroclimático do Estado de Santa Catarina**. 2ª etapa. Florianópolis, EMPASC, 106p, 1980.

ISHIZAKA, A. **Advantages of clusters and pivots in AHP**. University of Basel, Suíça, 2004.

KAUL, P.F.T.; COITINHO, J.B.L.; ISSLER, R.S. O episódio Campo Alegre. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 32., Salvador, 1982. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.47-54, 1982a.

KAUL, P.F.T.; COITINHO, J.B.L.; ISSLER, R.S. Suíte intrusiva serra do Mar: resultados preliminares. **Relatório Final RADAMBRASIL 540-G**, Florianópolis, 15p, 1982b.

KAUL, P. F. T.; TEIXEIRA, W. Archean and early proterozoic complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo states, south-southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. **Revista Brasileira de Geociências**, 12 (1):172-182, 1982.

KAY, J.N., CHEN, T. Rainfall/landslide relationship for Hong Kong. *Geotechnical Engineering, Proceedings of Institute of Civil Engineer*, vol. 113, pp. 117/118, 1995.

KEEFER, D.K., WILSON, R.C., MARK, R.K., BRABB, E.E., BROWN, W.M., ELLEN, S.D., HARP, E.L., WIECZOREK, G.F., ALGER, C.S., ZATKIN, R.S. Real-time landslide warning during heavy rainfall. *Science* 238, 921/925, 1987.

KOBIYAMA, M; MICHEL, G. P. e GOERL, R.F. Relação entre desastres naturais e floresta. *Revista Geonorte*, V.1, N.6, p. 17-48, 2012.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação Dos Solos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2002.

LUMB, P. Slope Failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, v. 8, pp. 3165, 1975.

MARENT, B.R. Mensuração dos Processos Desnudacionais a Longo-Termo ( $^{10}\text{Be}$ ) na Serra do mar no estado do Paraná: Implicações para a Evolução do Relevo. Belo Horizonte - Instituto de Geociências da UFMG - Dissertação de Mestrado, 2011.

MILANESI E GALVANI. 2011. Efeito Orográfico na Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP). *Revista Brasileira de Climatologia*, V1, N.9, p 68 – 79.

MONTGOMERY, D.R. e DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30: 1153-1171, 1994.

NIELSEN, T. H; TAYLOR, F. A; BRABB, E.E. Recent landslides in alameda county, California (1940-71): an Estimate of Economic Losses and Correlation with Slope Rainfall, and Ancient Landslide Deposits. *U.S. Geological Survey Bull*, 1976.

OLIVEIRA, F. A. **Estudo do Aporte Sedimentar em Suspensão na Baía da Babitonga sob a ótica da Geomorfologia**. São Paulo, Departamento de Geografia / FFLCH/USP (Tese de doutorado), 2006.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PMJ - PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica e da aptidão agrícola das terras do Município de Joinville**. Estudos para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental do município de Joinville – Santa Catarina, Viva Cidade/BID, Prefeitura Municipal de Joinville, 171p, 2011.

RIBEIRO, M.C.S; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B.; HADLER NETO, J.C. Evolução Tectônica de Denudacional da Serra do Mar (SE/Brasil) no limite entre o Cretáceo Superior e Paleoceno utilizando análises de traços de fissão e U-Th/He em apatitas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V12, nº3. P.3-14, 2011.

SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares. **Geonomos**, 1 (1): 1-15, 1993.

SAADI, A. Modelos Morfogenéticos e Tectônica Global: reflexões conciliatórias. **Geonomos**, 6 (1): 55-63, 1998.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, 15, pp. 231-281, 1977.

SAATY, T.L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, n 48, p 9-26, 1990.

SALGADO, A.A.R. Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG - Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e desnudacionais. 2006. 125 f., **Tese (doutorado)**, Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.

SALGADO, A.A.R.; SOBRINHO, L.C.G; CHEREM, L.F.S.; VARAJÃO, C.A.C.; BRAUCHER, R.; MARENT, B. Estudo da Evolução da Escarpa entre as bacias do Doce/Paraná em Minas Gerais através da Quantificação das taxas de Desnudação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 13(2): 213-222, 2012.

SCHMIDT, Â. M. A. Processo de apoio à tomada de decisão –Abordagens: AHP e MACBETH. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 2003.

SELBY, M. J. Hillslope: materials e processes, New York, 1993.

SESTINI, M F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG**. São José dos Campos: INPE 140p (Dissertação de Mestrado), 2000.

SHARPE, C. F. S. Landslides and related phenomena: a study of mass-movements of soil and rock, New York, 1938.

SILVEIRA, W.N.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; BRANDENBURG, B. **História das Inundações em Joinville: 1851- 2008**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2009.

SOARES, P.E. **Caracterização da Precipitação na Região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de Deslizamentos de encostas**. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ (Dissertação de Mestrado), 2006.

STEIGUER, J. E.; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. 2005.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology: an introduction of the study of landforms**. Essex, Longman Scientific e Technical. 537p, 1991.

TATIZANA, C., A. T. OGURA, L. E. S. CERRI e M. C. M. ROCHA. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos - Serra do Mar - município de Cubatão In **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**. ABGE, São Paulo: 225- 237, 1987.

TAVARES, R; SANT'ANA NETO. J. L.; TOMMASELLI, J. T. G., PRESSINOTTI, M. M. N., SANTORO, J. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associada aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In: **I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**. Florianópolis: GEDN, 2004. p. 680-696.

VAIDYA, O.S. e KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: **Special Report 176: Landslides: Analysis and Control** (Eds: Schuster, R. L. e Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33, 1978.

VARNES, D.J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural hazards, nº3, UNESCO, Paris. 63p, 1984.

VIEIRA, B.C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tese de doutorado), 2007.

VIEIRA, C. V. **Mapeamento Geológico Costeiro e Evolução Paleogeográfica do setor Oriental da Folha Garuva, Nordeste de Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. (Dissertação de Mestrado), 2008.

ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução estrutural do sistema de rifte Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 13 (2): 269-300, 2005.

## 9.2 REFERÊNCIAS CARTOGRÁFICAS

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. **Folhas São Francisco do Sul (SG-22-Z-B-II-2), Garuva (SG-22-Z-B-II-1), Araquari (SG-22-Z-B-II-4), Joinville (SG-22-Z-B-II-3) e Jaraguá do Sul (SG-22-Z-B-I-4)**. Rio de Janeiro, IBGE, 1981. (escala 1:50.000)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Mapa Fitoecológico – Vegetação Original ou Primária (Folhas SG-22-Z-B-II e SG-22-Z-B-I)**. Florianópolis, IBGE, 2002. (escala 1: 100.000)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Mapa Geológico (Folhas SG-22-Z-B-II e SG-22-Z-B-I)**. Florianópolis, IBGE, 2001a. (escala 1: 100.000)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Reconhecimento de Solos (Folhas SG-22-Z-B-II e SG-22-Z-B-I)**. Florianópolis, IBGE, 2002. (escala 1: 100.000)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Mapa Geomorfologia (Folhas SG-22-Z-B-II e SG-22-Z-B-I)**. Florianópolis, IBGE, 2004. (escala 1: 250.000)

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. 2007. **Base Cartográfica do Perímetro Urbano de Joinville Escala 1:1.000**. Executado Por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2007

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. 2007. **Ortofotos. Escala de Vão 1:5.000**. Executado Por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2007

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. 2007. **Base Cartográfica da Área Rural de Joinville Escalas 1:1.000.; 1:5.000 e 1:10.000**. Executado Por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2007

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE, 1996. **Fotos Aéreas. Escala de voo: 1:60.000**. Executado por: 1º DL, ano de 1996.